



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

JEŘÁBOVÉ HÁKY, KONSTRUKCE A VÝPOČET

CRANE HOOKS, DESIGN AND CALCULATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Šimon Vítů

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: Šimon Vítů
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Jeřábové háky, konstrukce a výpočet

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Představení jeřábových háků z hlediska typů, parametrů, výrobců, konstrukcí, materiálů, výpočtů a norem včetně vybraných konstrukčních dokumentací.

Cíle bakalářské práce:

Vypracovat rozsáhlou rešerši typů háků včetně výrobců a parametrů, norem.

U vybraných typů provést konstrukční dokumentaci.

Představit a popsat výpočtové i výrobní postupy různých typů jeřábových háků včetně voleb materiálů.

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 9788021426290.

BIGOŠ, Peter, Jozef KULKA, Melichar KOPAS a Martin MANTIČ. Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení. Vyd. 1. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2012. Edícia vedeckej a odbornej literatúry (Technická univerzita v Košiciach). ISBN 9788055311876.

POLÁK, Jaromír, Jiří PAVLISKA a Aleš SLÍVA. Dopravní a manipulační zařízení I. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2001. ISBN 8024800438.

KOVÁČ, Milan a Vladimír KLAPITA. Manipulácia s materiálom v doprave. 1. vyd. V Žiline: EDIS, 2003. ISBN 8080701741.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 1. vyd. Úvaly: Albra, 2003. ISBN 8086490742.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá rozdělením, výpočty, konstrukční dokumentací a výrobními postupy jeřábových háků. Práce obsahuje rešerši typů háků, postup výpočtu jednoduchého kovaného háku, dále jsou v práci uvedeni výrobci jeřábových háků se zaměřením na evropský trh. Práce obsahuje výkresovou dokumentaci, obsahující výkres součásti jednoduchého kovaného háku a výrobní výkres jedné lamely jednoduchého lamelového háku.

KLÍČOVÁ SLOVA

Hák jeřábu, dřík, závit, oko, vidlice, pojistka, matice, kovaný hák, lamelový hák, pevnostní výpočet.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the division, calculations, construction documentation and production procedures of crane hooks. The work includes a search of hook types, a procedure for calculation of a simple forged hook, and the work also lists manufacturers of crane hooks focusing on the European market. The work includes drawing documentation, drawing simple forged hook and production drawing of single lamella of single lamellar hook.

KEYWORDS

Crane hook, shank, thread, eye, fork, fuse, nut, forged hook, lamellar hook, strength calculation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VÍTŮ, Š. Jeřábové háky, konstrukce a výpočet. Brno, 2019. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 70 s. Vedoucí diplomové práce Jiří Malášek.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Jiřího Maláška a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. května 2019

.....

Šimon Vítů

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Doc. Ing. Jiřímu Maláškovi, PH.D. za jeho odborné rady a připomínky, při psaní práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině, kamarádům a známým, kteří mi byli při studiu oporou.

OBSAH

Úvod	9
1 Rozdělení jeřábových háků	10
1.1 Rozdělení podle normy čsn iso 1837	10
1.1.1 Rozdělení podle tvaru a připojení.....	10
1.1.2 Rozdělení podle použití	13
1.1.3 Rozdělení podle způsobu výroby	14
2 Kované háky	15
2.1 Jednoduché kované háky	15
2.1.1 Normy pro výpočet háků	16
2.1.2 Kované ocelové zdvihací samozavírací háky – Třída 8	18
2.1.3 Kované ocelové zdvihací háky s pojistkou – Třída 4.....	20
2.1.4 Kované ocelové zdvihací háky s pojistkou – Třída 8.....	22
2.1.5 Jednoduché kované háky s dříkem	23
2.1.6 Kované háky se závažím	27
2.2 Dvojité kované háky	28
2.3 Speciální háky.....	29
2.3.1 Kované háky čtyřnásobné.....	29
2.3.2 Automatické háky.....	30
2.4 Výpočet jednoduchého kovaného háku	30
2.4.1 Statická únosnost	30
2.4.2 Únavová pevnost	39
2.4.3 Vyhodnocení výpočtu.....	52
2.5 Výrobní postupy kovaných háků	52
2.5.1 Zápustkové kování.....	52
2.5.2 Volné kování	54
3 Lamelové háky	55
3.1 Části lamelového háku.....	55
4 háky pro plovoucí jeřáby	56
4.1 Aditivní výroba háků pro plovoucí jeřáby	56
5 Výrobci háků	58
Závěr.....	59
Seznam použitých zkratk a symbolů	65
Seznam příloh.....	70

ÚVOD

Nevíme přesně kam sahají počátky zdvihací techniky. V průběhu vývoje se přešlo od jednoduchých zdvihacích zařízení k složitějším, více sofistikovaným a produktivnějším konstrukcím. S postupným vývojem se zvyšují některé nároky na tato zařízení. Například nároky, nosnost, rychlost, dosah, univerzálnost a další. Mezi zdvihací zařízení patří též jeřáby. Druhů jeřábů je hodně, ovšem některé části zdvihacího mechanismu jsou stejné u všech druhů například lano/řetěz, navíjecí buben, kladky, prostředky pro uchopení břemene. Mezi prostředky pro uchopení břemene patří také hák.

Mohlo by se zdát, že zdvihací háky se za posledních několik desítek let moc nezměnily, ovšem i háky prochází v průběhu let vývojem a změnami. Ve své práci se budu zabývat některými zdvihacími háky, zejména háky jeřábovými kovanými.

1 ROZDĚLENÍ JEŘÁBOVÝCH HÁKŮ

Zdvihací háky se dají rozdělit podle různých hledisek. Základní rozdělení jeřábových háků je podle způsobu výroby na kované a lamelové. Rozdělení zdvihacích háků a jejich terminologii udává norma ČSN ISO 1837. [28],[24]

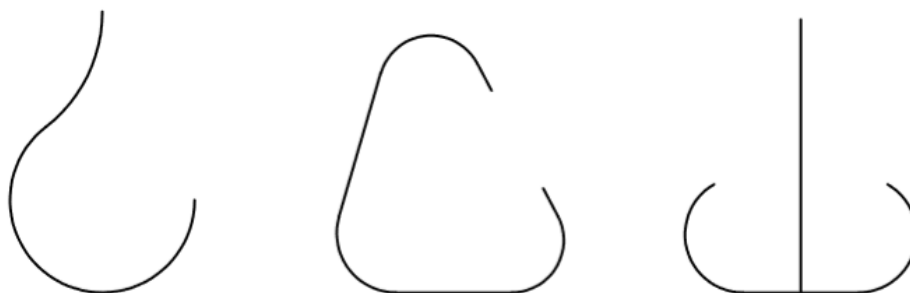
1.1 ROZDĚLENÍ PODLE NORMY ČSN ISO 1837

Zdvihací háky se podle této normy dělí:

- a) podle tvaru
- b) podle připojení
- c) podle použití

1.1.1 ROZDĚLENÍ PODLE TVARU A PŘIPOJENÍ

- Podle tvaru:
 - jednoduchý
 - c
 - dvojitý
 - jiné tvary



Obr. 1 Tvary zdvihacích háků, zleva: jednoduchý, C, dvojitý [24]

Pod pojmem c hák se dají dohledat tři různé typy háků, jedním typem jsou háky používané převážně u lesnických řetězů, tvar mají navržen tak, aby se s jejich pomocí dala vytvořit smyčka na vázaném předmětu. Příklad použití: manipulace se dřevem. Ovšem tyto háky slouží výhradně k tažení břemene nikoliv k jeho zvedání.



Obr. 2 c háky pro manipulaci se dřevem [3],[4]

Další typ c háků, jsou háky používané pro zdvihání specifických břemen. Břemeno se na c hák zavěšuje přímo a samotný c hák je zavěšen na háku jeřábů, příklad použití: manipulace se svitky plechu, svitky drátu, trubky, a jiné.



Obr. 3 C hák pro manipulaci se svitky plechu [11]

Třetí typ c háků, jsou háky používané spíše výjimečně, jejich tvar je uzpůsoben tak, aby při běžné manipulaci nemohlo dojít k samovolnému pádu břemene, který by byl způsoben, vysmeknutím vázacího prostředku z háku. Proto většinou nemají tyto háky pojistku.



Obr. 4 C hák, třetí typ [9]

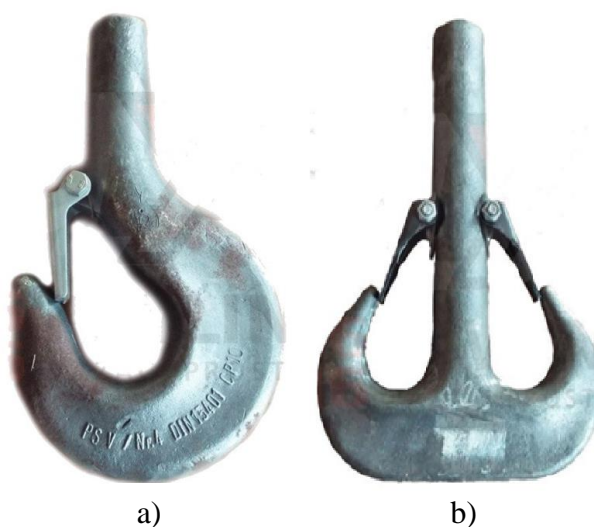
➤ Podle připojení:

- háky s okem
 - jednoduchý hák s okem
 - dvojité hák s okem
 - c hák s okem
 - jiné háky s okem



Obr. 5 Háky s okem a) jednoduchý hák s okem, b) dvojité hák s okem [68],[25]

- háky s dříkem
 - jednoduchý hák s dříkem
 - c hák s dříkem
 - dvojité hák s dříkem
 - jiné háky s dříkem



Obr. 6 Háky s dříkem a) jednoduchý hák s dříkem, b) dvojité hák s dříkem [40],[29]

- Háky s vidlicí a čepem
 - jednoduchý hák s vidlicí a čepem
 - c hák s vidlicí a čepem
 - jiné háky s vidlicí



Obr. 7 Háky s vidlicí a čepem a) jednoduchý hák s vidlicí b) c hák s vidlicí [38],[5]

Jednoduchý hák s vidlicí, se často používá u vázacích řetězů. Po nasazení speciálního adaptéru může být použitý i jako otočný hák kladkostroje jeřábu.

1.1.2 ROZDĚLENÍ PODLE POUŽITÍ

- a) háky pro všeobecné použití
- b) lodní háky (používané pro přepravu lodních nákladů)
- c) háky pro přepravu břemen o vysokých teplotách, většinou lamelové (používané většinou v ocelárnách, slévárnách apod.)



Obr. 8 Háky pro všeobecné použití [43]



Obr. 9 Lodní hák [56]



Obr. 10 Jednoduchý lamelový hák [69]

1.1.3 ROZDĚLENÍ PODLE ZPŮSOBU VÝROBY

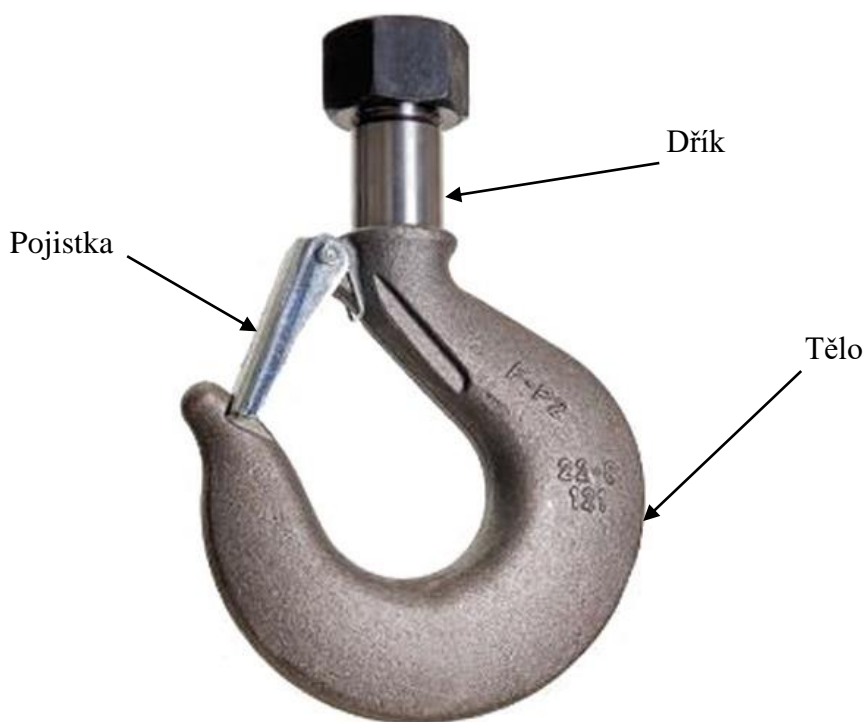
Podle způsobu výroby se háky dělí na háky kované a háky lamelové, tyto dva způsoby jsou nejvíce používány, ale je možné vyrobit i jiným způsobem.[2]

2 KOVANÉ HÁKY

Nejrozšířenější a nejčastěji používaná skupina háků. Podle tvaru se dělí na jednoduché, dvojité. Jednoduché kované háky jsou používány pro malé a střední nosnosti. Dvojité kované háky jsou používány pro střední a vyšší nosnosti. [27]

Volba vhodného háku závisí na požadované nosnosti, druhu provozu a pevnostní třídě háku. Hák jedné velikosti lze použít pro různé dovolené nosnosti v závislosti na druhu provozu.

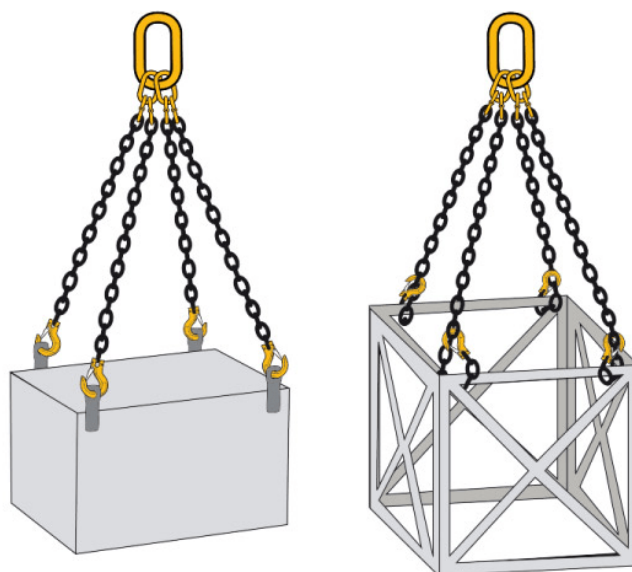
2.1 JEDNODUCHÉ KOVANÉ HÁKY



Obr. 11 Jednoduchý kovaný hák [36]

Jednoduché kované háky mají dvě hlavní části, dřík a tělo. Dřík háku horní část háku, kterou je hák připojen k zdvihacímu mechanismu jeřábu. Tělo háku, spodní zakřivená část háku.

Ne vždy je břemeno zavěšeno přímo na hák jeřábu, velmi často se k zavěšení břemena využívá vazacích prostředků, jako jsou lana, řetězy a jiné. Na konci vazacího prostředku bývá umístěn hák, který slouží k připojení k břemenu, tyto háky lze použít samostatně jako hák jeřábu, z tohoto důvodu je i těmto hákům věnována v práci pozornost.



Obr. 12 Příklad zavěšení břemena pomocí vázacích prostředků [33]

Nejpoužívanější typy jednoduchých kovaných zdvihacích háků jsou:

- Kované ocelové zdvihací samozavírací háky.
- Kované ocelové zdvihací háky s pojistkou – Třída 8.
- Kované ocelové zdvihací háky s dříkem.

2.1.1 NORMY PRO VÝPOČET HÁKŮ

Normy platné pro jednotlivé typy háků jsou uvedeny samostatně u daných typů, pro samozavírací háky třídy 8, a háky s pojistkou třídy 8 navíc platí společná norma uvedena níže.

NORMA ČSN EN 1677-1+A1[20]:

- Označení normy: ČSN EN 1677-1 +A1 (271910)
- Součásti pro vázací prostředky - Bezpečnost - Část 1: Kované ocelové součásti - Třída 8
- Datum účinnosti: 1.8. 2009

V následujících podkapitolách jsou uvedeny některé bezpečnostní, konstrukční a výrobní požadavky, vyplývající z této normy pro kované háky třídy 8.

Jakost materiálu

Použitá ocel musí být vyrobena elektrickým nebo kyslíkovým procesem. Ocel musí být zcela uklidněná, stabilizovaná proti křehnutí a mít austenitickou velikost zrna 5 nebo jemnější. Toto musí být dosaženo zajištěním odpovídajícího obsahu hliníku v oceli, minimálně 0,025 %, tím je součást stabilizována proti stárnutí křehnutím během provozu. Ocel musí obsahovat legující prvky, v dostatečném množství, aby hotový hák po tepelném zpracování vyhovoval nejen mechanickým vlastnostem, ale musí mít také prokazatelnou odolnost proti nízkým teplotám, aby mohl být hák použit při teplotách - 40 °C až 400 °C. Proto musí ocel obsahovat alespoň dva ze tří legujících prvků, Nikl, Chrom nebo Molybden, minimální obsah stanovený

analýzou tavby musí být pro každý prvek alespoň 0,4 %. Obsah síry a fosforu stanovený kontrolní analýzou nesmí být ani u jednoho z prvků vyšší než 0,03 %.

Tepelné zpracování

Každý hák musí být zakalen a popuštěn nebo normalizačně žíhán. Povrchové kalení nosných částí součástí není povoleno.

Výroba

Každý hák musí být kován za tepla v jednom kuse. Výronky z kování musí být čistě odstraněny, aby na povrchu nebyly ostré hrany. Po tepelném zpracování je nutno odstranit okuje.

Při výrobě háků se nesmí používat svařování s výjimkou že, se jedná o svařované části, které nemohou být nikdy nosné, nebo místo svaru při stanoveném nebo jakémkoli možném nevhodném používání háku nebude namáháno. Je třeba dbát na to, aby svařování nemohlo negativně ovlivnit mechanické vlastnosti nosných částí háku. Všechna místa svaru musí být čistě vyhlazena.

Povrchové úpravy

Součásti jsou dodávány s různými povrchovými úpravami, například natřené, zbavené okují, elektrolyticky pokovené.

Zkušební síla v průběhu výroby

Součásti, včetně nosných čepů, pokud jsou použity, musí odolat zkoušce zkušební silou v průběhu výroby. Rozměry se musí po odlehčení nacházet v předepsaných tolerancích, stanovených pro součást ve výrobní dokumentaci.

Síla při přetržení

Součásti, včetně nosných čepů, pokud jsou použity, musí dosáhnout síly při přetržení. Po ukončení statické zkoušky musí být u součásti vidět zřetelná deformace.

Odolnost proti únavě

Součásti, včetně nosných čepů, pokud jsou použity, s nosností do 32 t musí dosáhnout minimálně 20 000 kmitů bez přerušení.

Zkouška deformace

Zkouška se musí provést na třech vzorcích a každý vzorek musí vydržet zkušební sílu v průběhu výroby. Žádný rozměr se po zkoušce zkušební silou v průběhu výroby nesmí lišit od výchozího rozměru o více než 1 %.

Statická zkouška tahem

Zkouška se musí provést na třech vzorcích a každý vzorek musí dosáhnout minimálně hodnoty síly při přetržení. Zkouška lze provést na stejných vzorcích, na nichž byla provedena zkouška na deformaci.

Zkouška na únavu

Zkouška se musí provést na třech vzorcích, každý vzorek musí dosáhnout minimálně 20 000 cyklů v daném rozsahu zatížení bez přetržení. Maximální zatížení pro každý zatěžovací cyklus musí odpovídat 1,5násobku hodnoty nosnosti součásti. Minimální zatížení musí být pozitivní a musí být rovno nebo menší než 3 kN. Zkušební frekvence nesmí být větší než 25 Hz.

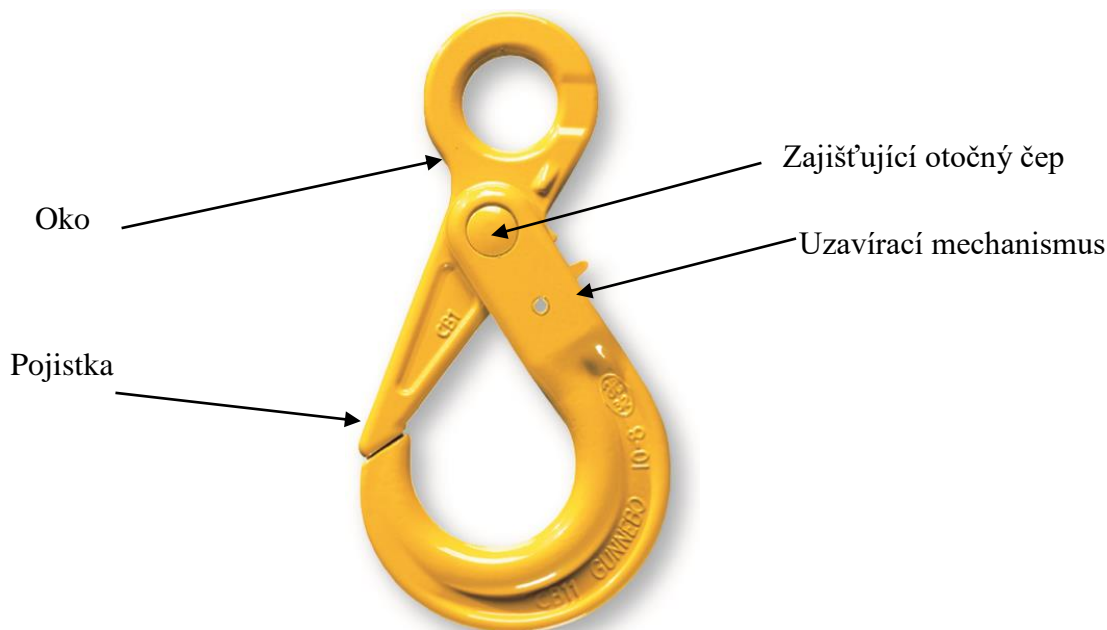
2.1.2 KOVANÉ OCELOVÉ ZDVIHACÍ SAMOZAVÍRACÍ HÁKY – TŘÍDA 8

„Samoavírací hák“ hák se zavíracím mechanismem, který se působením zatížení správně uzavře a zajistí, že může být otevřen až v nezatíženém stavu.

Háky tohoto typu je možno používat s vázacími ocelovými lany, vázacími řetězy a vázacími textilními prostředky. Ovšem mohou být použity i jiné pro všeobecné účely. V takových případech je důležité prověřit konstrukci těchto háků, kvůli zajištění způsobilosti pro použití k danému účelu. Samozavírací háky, jsou podle provedení horní části připojení buď s okem nebo vidlicí a čepem. Někteří výrobci dodávají samozavírací háky i v provedení s dříkem, ovšem norma [22] toto připojení nespecifikuje.



Obr. 13 Samozavírací háky provedení a) s okem, b) s vidlicí a čepem c) s dříkem [57],[58],[45]



Obr. 14 samozavírací hák popis [55]

NORMA SAMOZAVÍRACÍCH HÁKŮ TŘÍDY 8 [22]:

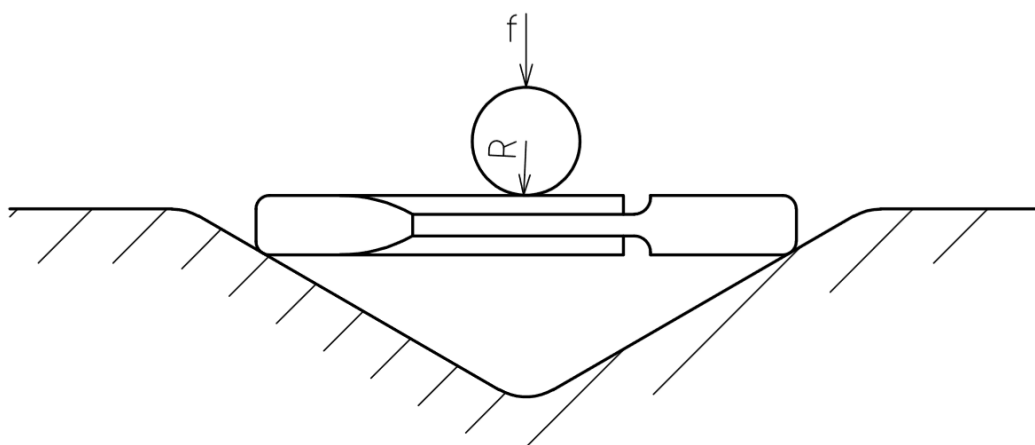
- Označení normy: ČSN EN 1677-3 +A1 (271910)
- Součásti pro vázací prostředky - Bezpečnost - Část 3: Kované ocelové zdvihací samozavírací háky - Třída 8
- Datum účinnosti: 1.2. 2009

Typové zkoušky

Při statické zkoušce tahem musí být hák ve správně uzavřeném tvaru.

Zkouška ohybem

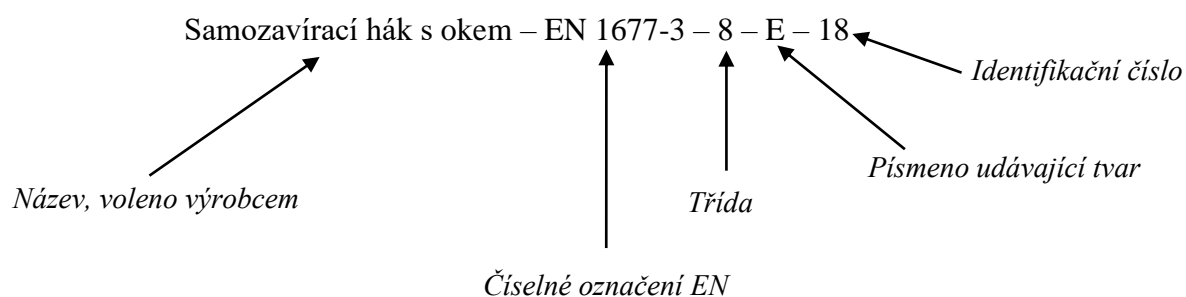
Pro ověření boční houževnatosti konstrukce a zajišťujícího otočného čepu se musí zavřený hák v konečném stavu podrobit zkoušce ohybem. Přípravek má tvar V s vnitřním úhlem 120°. Pokud není hák symetrický k ose uzavíracího mechanismu nebo zajišťujícího otočného čepu, musí se vyzkoušet obě strany, přičemž pro zkoušku každé strany je nutno použít jiný hák. Hodnoty zatěžující síly f a poloměru čepu R se určí podle identifikačního čísla háku.



Obr. 15 Zkouška ohybem [22]

OZNAČENÍ

Příklad označení pro hák s okem a nosností 10 tun:

**2.1.3 KOVANÉ OCELOVÉ ZDVIHACÍ HÁKY S POJISTKOU – TŘÍDA 4**

Háky tohoto typu je možno používat s vázacími ocelovými lany, vázacími řetězy a vázacími textilními prostředky. Ovšem mohou být použity i pro jiné všeobecné účely. V takových případech je důležité prověřit konstrukci těchto háků, kvůli zajištění způsobilosti pro použití k danému účelu.



Obr. 16 Hák s pojistkou, Třída 4 [37]

NORMA ZDVIHACÍCH HÁKŮ S POJISTKOU – TŘÍDY 4 [23]:

- Označení normy: ČSN EN 1677-5 +A1 (271910)
- Součásti pro vázací prostředky - Bezpečnost - Část 5: Kované ocelové zdvihací háky s pojistkou – Třída 4
- Datum účinnosti: 1.9. 2009

Konstrukce

Horní část připojení musí být ve tvaru oka. Každý hák musí mít pojistku se zatížitelnou pružinou, která zabezpečí, že nemůže dojít k náhodnému vyháknutí břemene.

Jakost materiálu

Použitá ocel musí být vyrobena elektrickým nebo kyslíkovým procesem. Ocel musí obsahovat alespoň 0,025 % hliníku, aby byla zajištěna odolnost háku proti křehnutí stárnutím během používání. Obsah síry a fosforu stanovený analýzou tavby nesmí být ani u jednoho z prvků vyšší než 0,025 %. Obsah křemíku stanovený analýzou tavby musí být v rozsahu 0,12 až 0,3 %. Tímto požadavkem je omezen negativní dopad na hák, který je součástí vázacího řetězu, používaného v galvanických lázních.

Tepelné zpracování

Každý hák musí být zakalen a popuštěn nebo normalizačně žihán. Volba typu oceli je na zodpovědnosti výrobce, háky po příslušném tepelném zpracování musí vyhovovat mechanickým vlastnostem.

Výroba

Každý hák musí být kován za tepla v jednom kuse. Výronky z kování musí být čistě odstraněny, aby na povrchu nebyly ostré hrany.

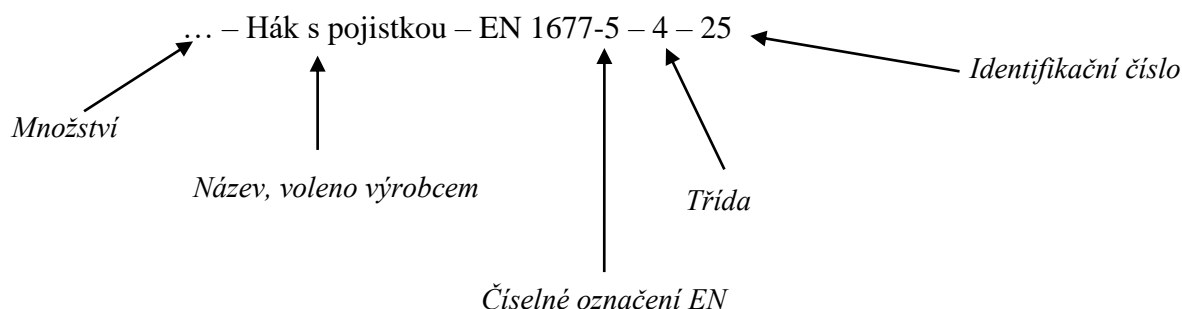
Při výrobě háků se nesmí používat svařování s výjimkou že, se jedná o svařované části, které nemohou být nikdy nosné, nebo místo svaru při stanoveném nebo jakémkoli možném nevhodném používání háku nebude namáháno. Je třeba dbát na to, aby svařování nemohlo negativně ovlivnit mechanické vlastnosti nosných částí háku. Všechna místa svaru musí být čistě vyhlazena.

Pojistka

Pružina musí udržet pojistku v každé poloze háku v uzavřeném tvaru. Není dovoleno používat pojistky vyžadující k otevření velkou sílu. Pružina musí být vyrobena korozivzdorného materiálu a musí bez prasknutí vydržet minimálně 10 000 úplných otevření pojistky.

OZNAČENÍ

Příklad označení pro hák s nosností 10 tun:

**2.1.4 KOVANÉ OCELOVÉ ZDVIHACÍ HÁKY S POJISTKOU – TŘÍDA 8**

Zdvihací háky s pojistkou, jsou podle provedení horní části připojení buď s okem nebo vidlicí a čepem. Někteří výrobci dodávají samozavírací háky i v provedení s dříkem, norma [21] ovšem toto provedení připojení nespecifikuje. [21]

Háky tohoto typu je možné používat s vázacími ocelovými lany, vázacími řetězy a vázacími textilními prostředky. Ovšem mohou být použity i jiné pro všeobecné účely. V takových případech je důležité prověřit konstrukci těchto háků, kvůli zajištění způsobilosti pro použití k danému účelu.



Obr. 17 Zdvihací háky s pojistkou a) s okem, b) s vidlicí a čepem, c) s dříkem [31],[62],[46]

NORMA ZDVIHACÍCH HÁKŮ S POJISTKOU TŘÍDY 8 [21]:

- Označení normy: ČSN EN 1677-2 +A1 (271910)
- Součásti pro vázací prostředky - Bezpečnost - Část 2: Kované ocelové zdvihací háky s pojistkou – Třída 8
- Datum účinnosti: 1.1. 2009

Konstrukce

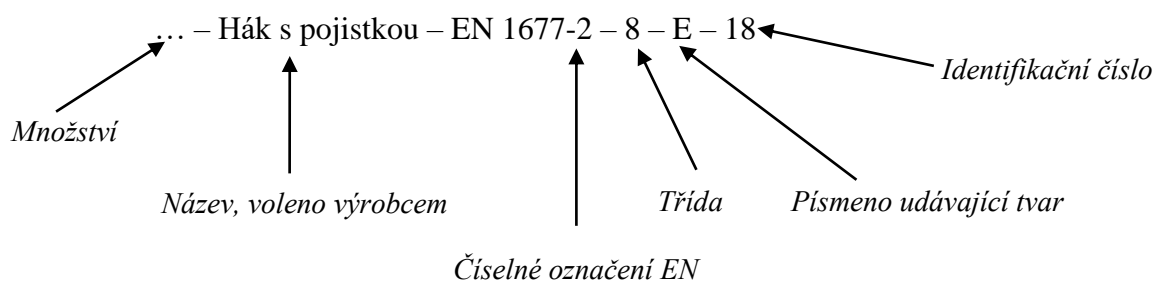
Horní část připojení musí být ve tvaru oka nebo vidlice. Každý hák musí mít pojistku se zatížitelnou pružinou, která zabezpečí, že nemůže dojít k náhodnému vyháknutí břemene. Dále musí hák splňovat bezpečnostní požadavky normy [EN 292].

Pojistka

Pojistka háku musí zapadnout do špičky háku tak, že vznikne tvarový uzávěr. Není dovoleno používat pojistky vyžadující k otevření velkou sílu. Pružina musí být vyrobena korozi-vzdorného materiálu a musí bez prasknutí vydržet minimálně 10 000 úplných otevření pojistky.

Označení

Příklad označení pro hák s okem a s nosností 10 tun:



2.1.5 JEDNODUCHÉ KOVANÉ HÁKY S DŘÍKEM

U jeřábů jsou háky tohoto typu nejpoužívanější. Dřík háku bývá nejčastěji opatřen závitem, díky, kterému je připevněn ke kladkostroji nebo kladnici jeřábu. Tyto háky se nejčastěji používají pro nosnosti do sto tun, pro vyšší nosnosti obvykle používáme kované



Obr. 18 Jednoduchý kovaný hák s maticí [61]

NORMA JEDNODUCHÝCH A DVOJITÝCH KOVANÝCH HÁKŮ [17]

- Označení normy: ČSN EN 13001-3-5 +A1 (270105)
- Jeřáby - Návrh obecně - Část 3-5: Mezní stavy a prokázání způsobilosti kovaných háků
- Datum účinnosti: 1.3. 2018

Norma uvádí informace k materiálu, pevnostním výpočtům, mezním stavům, jednoduchých a dvojitých kovaných háků. Dále jsou součástí normy přílohy se základními rozměry jednoduchých a dvojitých háků.

Požadavky na materiál

Materiál háku hotového výkovku musí mít při teplotě určené pro používání háku dostatečnou tažnost, aby trvalá deformace nastala dřív, než dojde ke ztrátě únosnosti. Háček musí splňovat zejména následující podmínky, poměr meze pevnosti (f_u) k mezi kluzu (f_y) musí být $f_u/f_y \geq 1,2$, dále procentuální prodloužení při přetržení musí být $A \geq 10 \%$ na měřené délce $L_0 = 5,65 \cdot \sqrt{S_0}$ (S_0 – původní plocha průřezu).

Vybraná ocel musí být taková, aby po jejím vhodném tepelném zpracování vyhovovaly požadavky na jakostní stupeň při provozní teplotě zvolený tvar háku při zohlednění jeho rozhodujících tlouštěk.

Ocel musí být uklidněná, stabilizovaná proti křehnutí stárnutím, musí mít dostatečný obsah hliníku (minimálně 0,025 %). Ocel musí mít velikost austenitického zrna číslo 8 nebo jemnější. Maximální obsah hmotnosti určený analýzou tavby nesmí být pro síru vyšší než 0,02 %, pro fosfor nesmí být vyšší než 0,02 %, pro součet síry a fosforu nesmí být vyšší než 0,035 %.

Typické normy a třídy jakosti

Evropské normy uvádějí materiály a jejich vlastnosti. Vhodné třídy materiálu a jakosti pro kované háky jsou uvedeny níže v tabulce. Materiál háku nemusí přímo vycházet z těchto norem a tříd jakosti, ale mechanické vlastnosti a chemické složení musí být specifikováno způsobem odpovídajícím relevantním normám.

Tabulka 1 Materiály používané pro výrobu kovaných háků

Norma materiálu	Vybrané jakosti materiálu	
EN 10025-3	S355N	S420N
EN 10222-4	P355NH P355QH	P420NH P420QH
EN 10250-2	S355J2	
EN 10086-3 EN 10250-3	25CrMo4+QT 34CrMo4+QT 36CrNiMo4+QT	34CrNiMo6+QT 34CrNiMo6+QT

Tabulka 2 vybrané vlastnosti oceli 34CrNiMo6+QT [66]

Druh oceli	Středně legovaná ušlechtilá chrom – nikl – molybdenová ocel k zušlechťování
Použití	Ocel s vysokou prokalitelností pro vysoce namáhané strojní díly.
Vlastnosti	V zušlechtěném stavu má velmi příznivý poměr pevnosti k mezi kluzu a vysokou houževnatost. Vysoká houževnatost brzdí šíření únavových trhlin. Díky tomu se ocel vyznačuje vysokými hodnotami meze únavy při střídavém a kombinovaném způsobu namáhání.
Kalení	Kalí se převážně do oleje nebo do roztoků syntetických polymerů.
Tváření za tepla	Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla: 1100 až 900 °C

Výrobní zpracování

Každé těleso háku musí být vykováno za tepla z jednoho kusu. Makroskopická vláknu struktury materiálu od kování musí v oblastech největšího tahového napětí sledovat obrys těla háku. Přbytek materiálu od kování musí být čistě odstraněn s povrchem bez ostrých hran.

Použitím vhodných NDT metod (nedestruktivní metody zkoušení) se musí provádět inspekce povrchových necelistvostí vykování háku a musí vyhovovat požadavku na třídu jakosti 3. Může být použito broušení pro dosažení požadované jakosti povrchu. Stopy po broušení musí být v obvodovém směru vzhledem ke kružnici sedla. Po tepelném zpracování musí být odstraněny šupiny způsobené v peci a hák musí být bez poškození, včetně prasklin.

Výrobní tolerance kování

Obecně musí být všechny rozměry kovaných háků v toleranci $[0; +7 \text{ \%}]$ jmenovitého rozměru. U jednoduchých háků se osa opracovaného dříku se nesmí odchylovat od středu sedla více než $\pm 0,02 a_1$ – průměr sedla háku.

Geometrie těla háku

Sedlo háku musí být kruhového tvaru. U jednoduchého háku musí ležet střed oblouku v ose opracovaného háku. U dvojitého háku se musí kružnice sedla dotýkat vnějšího obrysu výkovku dříku, dvojité hák musí být symetrický k ose dříku.

Opracování dříku háku

Dřík má být volen tak, aby jeho délka co nejméně omezovala výšku zdvihu. Zároveň však musí vůle mezi špičkou háku a kladnicí být nejméně tak velká jako je rozevření háku, aby se daly vazací prostředky bez problémů navléct na hák. Přejít ze závitu do dříku má být pozvolný a plynulý, bez ostrých zápichů, aby se snížilo riziko vzniku lomu při únavě materiálu. Delší krček též lépe vyhovuje při náhlém zastavení.

Délka závitové části dříku nesmí být větší než $0,8 \cdot d_3$, d_3 – vnější průměr závitu. Poloměr zaoblení dna profilu závitu nesmí být menší než $0,14 \cdot p$, p – rozteč závitu. Dřík musí být podsoustružen pod posledním závitem, podsoustružení musí být opracováno tvarovým

brousícím nástrojem, drsnost po broušení musí být $R_a \leq 6,3 \mu m$. Opracování dříku nesmí zasahovat do zakřivené části kovaného těla.

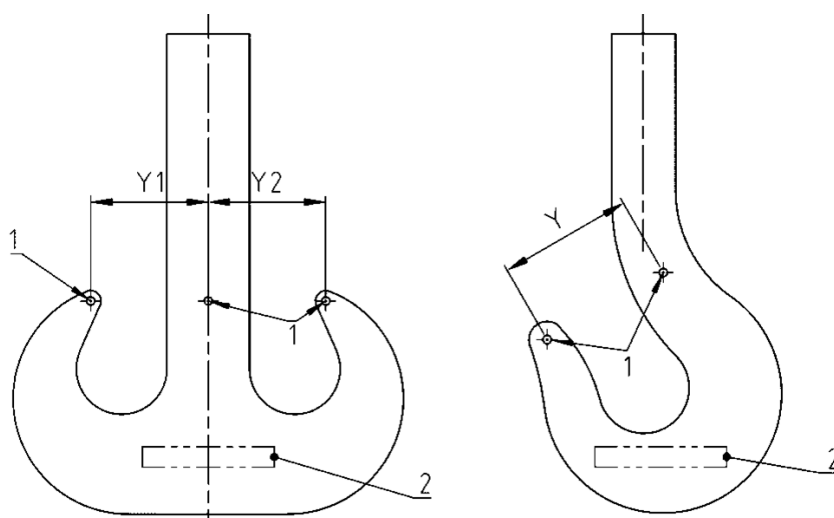
Matice

Mechanické vlastnosti materiálu matice musí být stejné nebo lepší, než jaké jsou požadované pro hák. Celá délka závitové části dříku háku, musí být v záběru závitu matice. Aby se zabránilo vyšroubování matice musí být matice na dříku tvarově zajištěna proti natočení. Zajištění musí dovolovat vzájemný axiální posun mezi dříkem a maticí z důvodu vůle v závitovém spojení. Poloměr zaoblení dna závitu matice nesmí být menší než $0,07 \cdot p$, p – rozteč závitu.

Konstrukcí matice se může docílit rozložení zatížení do větší části délky závitu. Příklady úprav matice a dříku. [44, str.:60].

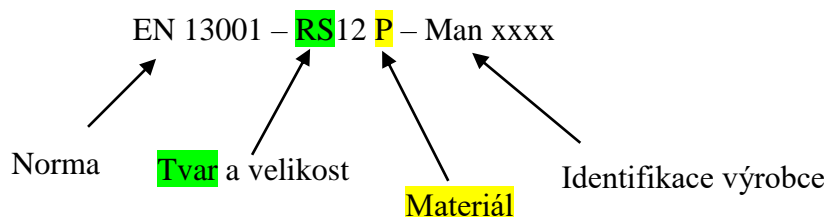
Značení háků

Těleso háku musí mít trvalé označení jako pozice 2 na následujícím obrázku. Hák musí mít trvalé označení pomocí důlků umístěných podle pozice 1. Zaznamenají se rozměry Y nebo Y_1 a Y_2 , které jsou relevantní a zařadí se v dokumentaci háku. Rozměry Y se mohou též označit přímo na hák. Těleso háku nesmí mít označení určující nosnost nebo klasifikaci vytížení.



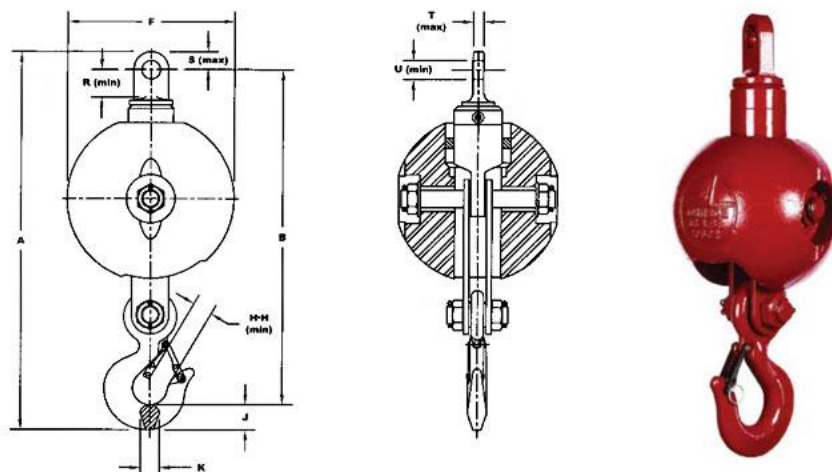
Obr. 19 Značení háků [17]

Příklad označení pro hák velikosti 12 vyrobený z materiálu P



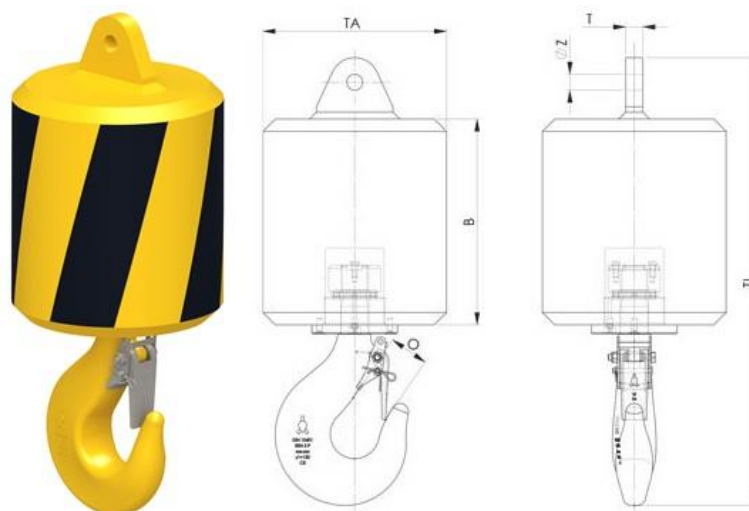
2.1.6 KOVANÉ HÁKY SE ZÁVAŽÍM

Háky se závažím, se používají tam, kde hák není zavěšen na kladnici, ale je připevněn na konci lana nebo řetězu. Někdy mají toto provedení otočné jeřáby nebo jeřáby s více háky. Váha břemenem nezatíženého háku by při spouštění nestačila k překonání odporů v mechanismu mezi lanovým bubnem a hákem. Aby lano netvořilo smyčky při spouštění nezatíženého háku, tak se lehké háky zatěžují závažím. Závaží bývá většinou vyrobeno z litiny. [1], [30]



Obr. 20 Hák se závažím provedení pro hák s okem [49]

Vnitřní prostor závaží bývá upraven pro uložení háku, některé konstrukce též využívají vnitřním prostoru závaží pro uchycení lana. Někdy se k zatížení lana využije pouze závaží umístěné nad hákem.



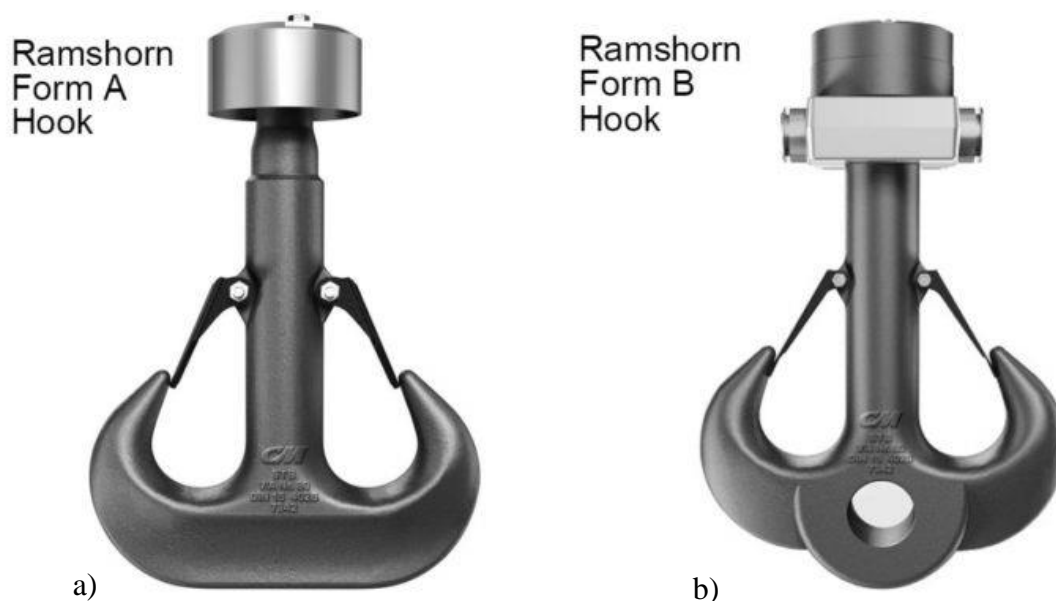
Obr. 21 Hák se závažím provedení pro hák s dříkem [50]



Obr. 22 Závaží na lano provedení a) kulový tvar, b) tvar elipsovitý [63],[64]

2.2 DVOJITÉ KOVANÉ HÁKY

Dvojité kované háky se používají pro střední a vyšší nosnosti. Nosnost těchto háků je v řádech desítek až stovek tun, největší háky tohoto typu dosahují nosnosti víc jak tisíc tun. Bývají opatřeny dříkem se závitem, ale mohou být opatřeny i okem. Dvojité kované jsou obvykle vyráběny podle norem DIN 15 402, DIN 15 402-B. Nejčastěji používané jsou háky vyráběné podle DIN 15 402. Druhá skupina jsou háky podle DIN 15 402 – B, tyto háky jsou ve spodní části opatřeny dírou, kterou je možné použít pro zavěšení břemena na hák, pokud to situace vyžaduje. Hák se kove bez díry, díra je vyrobena až po vykování. Provedení obou skupin háků je vidět na následujícím obrázku. [2],[13]



Obr. 23 Dvojité háky a) provedení tvar A, b) provedení tvar B - s dírou [28]

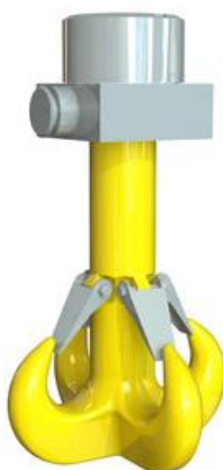
Výpočtové vztahy a výrobní postupy dvojitých kovaných háků jsou velmi podobné jako pro jednoduché kované háky, výpočtové a výrobní postupy viz norma [17].

2.3 SPECIÁLNÍ HÁKY

Tyto háky nejsou až tak obvyklé, ovšem u jeřábů se používají. Jsou často použity pro vyšší nosnosti nebo speciální jeřáby a provozy.

2.3.1 KOVANÉ HÁKY ČTYŘNÁSOBNÉ

Háky tohoto typu mají nosnost od několika set tun po několik tisíc tun. Háky mají tvar podle normy DIN 15402 – C, používají se u plovoucích, jeřábů, u jeřábů které pracují v přístavech.



Obr. 24 Čtyřnásobný hák [61]

2.3.2 AUTOMATICKÉ HÁKY

Speciální typ háku, který umožňuje uchytit a uvolnit zdvihaný předmět bez přítomnosti obsluhy. Háček je možno ovládat pomocí bezdrátového ovladače ze vzdálenosti několik desítek až stovek metrů. Háček se po přijetí signálu buď otevře nebo zavře, případně se může otáčet. Háčky tohoto typu se používají v pro obsluhu nebezpečných provozů, nízké teploty, chemický průmysl, a jiné.



Obr. 25 Automatický hák

2.4 VÝPOČET JEDNODUCHÉHO KOVANÉHO HÁKU

Výpočet je proveden pro jednoduchý kovaný hák, který bude umístěn v kladnici mostového jeřábu, výpočet je založen na normě [17], parametry jeřábu jsou:

- nosnost 8 t
- maximální rychlost zdvihu $v_z = 0,208 \text{ m/s}$
- maximální rychlost pojezdu kočky $v_k = 0,5 \text{ m/s}$
- maximální rychlost pojezdu jeřábu $v_v = 0,66 \text{ m/s}$
- výška zdvihu $h_z = 10 \text{ m}$
- zdvihací třída H2
- třída využívání U5

2.4.1 STATICKÁ ÚNOSNOST

Výpočet je nutný provést pro kritické průřezy háku, přitom musí být použity příslušné dílčí součinitele bezpečnosti.

SVISLÁ NÁVRHOVÁ SÍLA

$$F_{Sd.s} = \Phi \cdot m_{RC} \cdot g \cdot \gamma_p \cdot \gamma_n \quad (1)$$

$$F_{Sd.s} = 1,27 \cdot 8000 \cdot 9,81 \cdot 1,35 \cdot 1 = 134553,96 \text{ N}$$

$$F_{Sd.s} = 134554 \text{ N}$$

Při dosazení

$$\phi = \max \left\{ \phi_2; 1 + \left(\phi_{5_z} \cdot \frac{a_s}{g} \right) \right\} [-] \quad (2)$$

$$\phi = \max \left\{ 1,27; 1 + \left(1,2 \cdot \frac{0,208}{9,81} \right) \right\} = 1,27$$

$$\phi = 1,27$$

Při dosazení

$$a_s = \frac{v_z}{t_z} \quad [m/s^2] \quad (3)$$

$$a_s = \frac{0,208}{1} = 0,208 \text{ m/s}^2$$

$$a_s = 0,208 \text{ m/s}^2$$

Kde

m_{RC}	[kg]	hmotnost jmenovitého břemene
g	[m/s ²]	gravitační zrychlení
γ_p	[-]	dílčí součinitel bezpečnosti [16]
γ_n	[-]	součinitel rizika
ϕ_2	[-]	dynamický součinitel při zdvihání volně ležícího břemena, [14, str.: 18], [16 str.:12]
ϕ_{5_z}	[-]	dynamický součinitel pro zatížení způsobená akcelerací zdvihové jednotky [14, str.: 20];
a_s	[m/s ²]	zrychlení ve svislém směru
v_z	[m/s]	maximální rychlost zdvihu
t_z	[s]	čas dosažení maximální zdvihové rychlosti

Předpokládá se, že čas dosažení maximální zdvihové rychlosti je $t_z = 1 \text{ s}$

Volba tvaru a rozměrů háku

Pro další výpočty je třeba znát velikost a rozměry háku, velikost háku volím podle velikosti návrhové síly. Minimální statická návrhová síla se může určit podle následujícího vzorce.

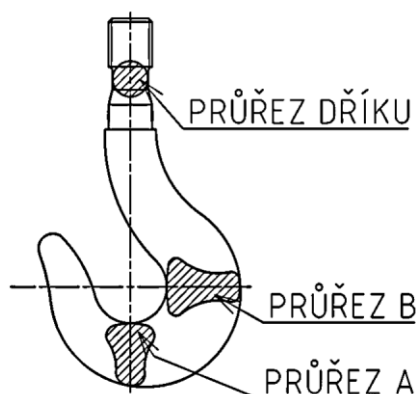
$$F_{Rd.s} \geq \frac{F_{Sd.s}}{f_1} [N] \quad (4)$$

$$F_{Rd.s} \geq \frac{134554}{1} = 134554 \text{ N}$$

Kde

f_1	[-]	součinitel vlivu provozní teploty [17, str.: 26]
-------	-----	--

Z tabulky D.1 [17] volím hák číslo: 2,5, třída materiálu: T, $F_{Rd.s} = 210000 \text{ N}$. Tabulka A.1 [17] určuje základní rozměry háku.



Obr. 26 Výpočtové průřezy

VODOROVNÁ NÁVRHOVÁ SÍLA

Nejvýznamnější vodorovné síly pro únosnost háků jsou způsobené vodorovnými zrychleními pohybů jeřábů. Pro zadaný jeřáb nejsou další vodorovné síly, způsobené například větrem, významné, proto je počítána pouze vodorovná návrhová síla, od vodorovných zrychlení.

$$H_{Sd,s} = \min \left\{ \frac{m_{RC} \cdot a_v \cdot \Phi_{5-v} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_n}{C_t \cdot F_{Sd,s}/h} \right\} [N] \quad (5)$$

$$H_{Sd,s} = \min \left\{ \frac{8000 \cdot 0,66 \cdot 1,8 \cdot 1,34 \cdot 1}{0,01 \cdot 134554/0,24} \right\} = 5606,4 N$$

$$H_{Sd,s} = 5606 N$$

Při dosazení

$$a_v = \frac{v_v}{t_v} [m/s^2] \quad (6)$$

$$a_v = \frac{0,66}{1} = 0,66 m/s^2$$

$$a_v = 0,66 m/s^2$$

$$C_t = \mu \cdot \frac{d_{\check{c}_p}}{2} [m] \quad (7)$$

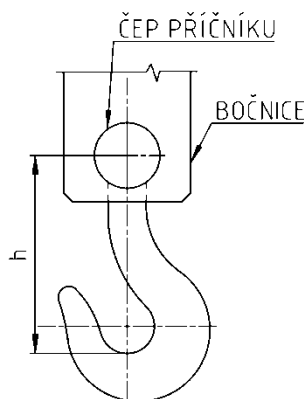
$$C_t = 0,4 \cdot \frac{0,05}{2} = 0,01 m$$

Kde

a_v	$[m/s^2]$	zrychlení nebo zpždění vodorovného pohybu
t_v	$[s]$	čas dosažení maximální vodorovné rychlosti
Φ_{5-v}	$[-]$	dynamický součinitel pro zatížení způsobená vodorovným zrychlením [14, str.: 20]
C_t	$[m]$	odpor proti naklonění závěsu háku, [17, str.: 63]

μ	[-]	tření v čepu příčnicku [17, str.: 63]
$d_{\check{c}_p}$	[m]	průměr čepu příčnicku
h	[m]	svislá vzdálenost sedla těla háku k ose kloubového závěsu [17, str.:63]

Předpokládá se, že čas dosažení maximální vodorovné rychlosti je $t_v = 1 \text{ s}$



Obr. 27 Uložení v kladnici

Hák bude uložen v příčnicku v kladnici, příčnick je uložen v bočnici na čepu, což umožňuje při působení vodorovné síly natáčení háku, průměr čepu je $d_{\check{c}_p} = 50 \text{ mm}$. Svislá vzdálenost sedla těla háku k ose kloubového závěsu byla v závislosti na rozměrech zvoleného háku, a uložení háku stanovena na $h = 240 \text{ mm}$.

OHYBOVÝ MOMENT DŘÍKU

Pro určení celkového ohybového momentu dříku háku musí být zohledněny účinky zatížení vodorovné síly, sklon závěsu háku, excentrické působení svislé síly v sedle háku.

Ohybový moment od vodorovné síly

$$M_1 = H_{sd,s} \cdot h_s \quad [N \cdot m] \quad (8)$$

$$M_1 = 5606 \cdot 0,26 = 1457,6 \text{ N} \cdot m$$

$$M_1 = 1458 \text{ N} \cdot m$$

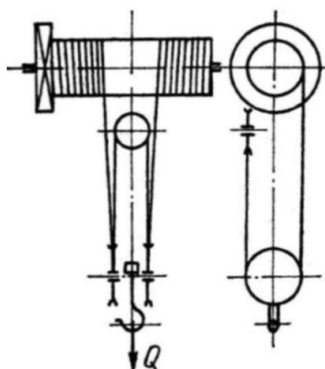
Kde

h_s	[m]	svislá vzdálenost od spodní části sedla háku k hornímu konci nejtenčí části dříku háku
-------	-----	--

Ohybový moment od sklonu závěsu háku

Pro zadané uspořádání zdvihového mechanismu a háku/ kladnice háku, nemůže při běžném provozu dojít ke sklonu závěsu, tudíž není potřeba tento moment počítat.

$$M_2 = 0 \quad N \cdot m \quad (9)$$



Obr. 28 Uspořádání zdvihového mechanismu [60]

Ohybový moment od excentricity svislé síly

Vázací prostředek břemena nemusí vždy dosednout ve středu sedla háku. Odchylka směru působení svislého zatížení od osy dříku způsobuje ohybový moment.

$$M_3 = c_e \cdot F_{Sd,s} \cdot a_1 \quad [N \cdot m] \quad (10)$$

$$M_3 = 0,05 \cdot 134554 \cdot 0,063 = 423,85 \quad N \cdot m$$

$$M_3 = 423,9 \quad N \cdot m$$

Kde

c_e	[-]	součinitel excentricity [17, str.: 22]
a_1	[m]	průměr kružnice sedla těla háku

Návrhový ohybový moment dříku

$$M_{Sd,s} = \min \left\{ \frac{(M_1 + M_2 + M_3)}{h_s/h \cdot C_t \cdot F_{Sd,s}} \right\} \quad [N \cdot m] \quad (11)$$

$$M_{Sd,s} = \min \left\{ \frac{(1458 + 0 + 423,9)}{0,26/0,24 \cdot 0,01 \cdot 134554} \right\} = 1457,66 \quad N \cdot m$$

$$M_{Sd,s} = 1458 \quad N \cdot m$$

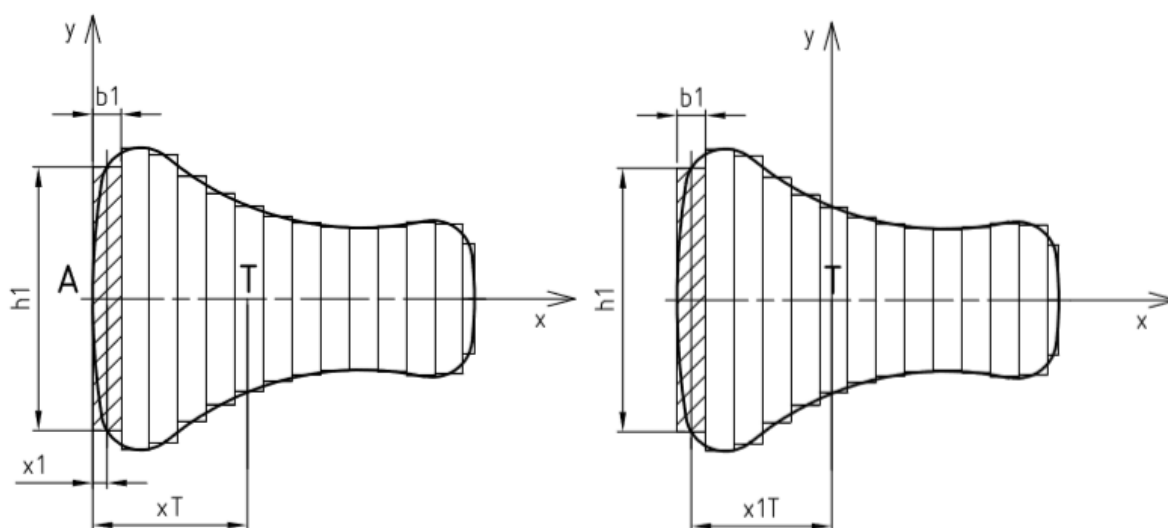
TĚLO HÁKU, NÁVRHOVÁ NAPĚTÍ

Svislá návrhová síla $F_{Sd,s}$ se rozdělí do dvou silových složek, působících ve středu kružnice sedla, symetricky na protějších stranách, ke svislé ose pod úhlem α od svislice, viz obr. Xxx. Předpokládá se, že minimální hodnota $\alpha = 45^\circ$.

Metody výpočtu napětí

Napětí ve vyznačených průřezích těla háku mohou být, analyzovány metodou konečných prvků, teorií ohybu křivých prutů nebo zjištěny experimentálně ve skutečné velikosti. Následující výpočet je založen na teorii ohybu křivých prutů. Pro výpočet je nutné znát polohu těžiště výpočtových průřezů těla háku, také je potřeba určit referenční moment setrvačnosti pro výpočtové průřezy. Po dohodě s vedoucím bakalářské práce jsem se rozhodl pro grafickopočetní řešení určení těžiště a momentu setrvačnosti.

Průřezy byly nakresleny v programu AutoCad Mechanical 2017, průřezy byly rozděleny na obdélníky malých rozměrů, díky tomu bylo možné poměrně jednoduše určit polohu těžiště a momentu setrvačnosti. Konkrétní hodnoty jsou uvedeny v příloze, postup je znázorněn na následujícím obrázku. Průřez je symetrický podle osy x, proto stačí určit polohu těžiště ve směru osy x.



Obr. 29 Určení těžiště a momentu setrvačnosti

Poloha těžiště T

$$X_T = \frac{\sum_i^n S_i \cdot x_i}{\sum_i^n S_i} \quad (12)$$

Kde

$S_i = h_i \cdot b_i$	[mm ²]	plocha proužku
h_i	[mm]	výška proužku
b_i	[mm]	šířka proužku
x_i	[mm]	vzdálenost těžiště proužku od bodu A

Referenční moment setrvačnosti

Může být vyjádřen následující rovnicí.

$$I = k \cdot I_{Ty} \quad (13)$$

Kde

k [-] převodní součinitel závislý na tvaru průřezu a relativním zakřivení [17, str.: 62]

I_{Ty} [m⁴] smluvní moment setrvačnosti k ose y jdoucí těžištěm

Smluvní moment setrvačnosti je vypočítán pomocí Steinerovy věty.

$$I_{Ty} = \sum_{i=1}^n I_{Ti} + S_i \cdot x_{Ti}^2 \quad (14)$$

Kde

I_{Ti} [mm⁴] moment setrvačnosti proužku k těžišti proužku

x_{Ti} [mm] vzdálenost těžiště proužku k těžišti průřezu

Výsledné hodnoty pro průřez A a B

Tabulka 3 Vypočítané hodnoty, pro průřez A a B

Průřez	I	k	I_{Ty}	η_1 ,	x_T
	[m ⁴]	[-]	[m ⁴]	[m]	[m]
A	$5,07 \cdot 10^{-7}$	1,08	$4,697 \cdot 10^{-7}$	0,02578	0,02578
B	$9,13 \cdot 10^{-7}$	1,1	$8,297 \cdot 10^{-7}$	0,02851	0,02851

η_1 [m] absolutní hodnota souřadnice x ve vnitřním vláknu jednotlivých průřezů [17];

Návrhová napětí

Je nutno vypočítat návrhová napětí $\sigma_{Sd,s}$ v řezech A a B.

Průřez B

$$\sigma_{Sd,sB} = \frac{v_B \cdot F_{Sd,s} \cdot R_B \cdot \eta_{1,B}}{I_B} \cdot \frac{1}{1 - \eta_{1,B}/R_B} \text{ [MPa]} \quad (15)$$

$$\sigma_{Sd,sB} = \frac{1 \cdot 134554 \cdot 0,06 \cdot 0,02851}{9,13 \cdot 10^{-7}} \cdot \frac{1}{1 - \frac{0,02851}{0,06}} = 480192087 \text{ Pa} = 480,19 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Sd,sB} = 480,2 \text{ MPa}$$

$$R_B = \frac{a_1}{2} + \eta_{1_B} = \frac{63}{2} + 28,51 = 60,01 \text{ mm} = 0,06 \text{ m}$$

Kde

v_B	[-]	součinitel pro složku zatížení, pro průřez [17, str.: 24]
R_B	[m]	poloměr zakřivení v těžištním řezu, průřez B
η_{1_B}	[m]	absolutní hodnota souřadnice x ve vnitřním vláknu průřezu B;
I_B	[m ⁴]	referenční moment setrvačnosti křivého prutu

Průřez A

$$\sigma_{Sd,SA} = \frac{v_A \cdot F_{Sd,S} \cdot R_A \cdot \eta_{1_A}}{I_A} \cdot \frac{1}{1 - \eta_{1_A}/R_A} \text{ [MPa]} \quad (16)$$

$$\sigma_{Sd,SA} = \frac{0,5 \cdot \tan(45^\circ) \cdot 134554 \cdot 0,05728 \cdot 0,02578}{5,07 \cdot 10^{-7}} \cdot \frac{1}{1 - \frac{0,02578}{0,05728}} = 361,25 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{Sd,SA} = 361,25 \text{ MPa}$$

$$R_A = \frac{a_1}{2} + \eta_{1_A} = \frac{63}{2} + 25,78 = 57,28 \text{ mm} = 0,05728 \text{ m}$$

Kde

v_A	[-]	součinitel pro složku zatížení, pro průřez A 17, str.: 24
R_A	[m]	poloměr zakřivení v těžištním řezu, průřez A
η_{1_A}	[m]	absolutní hodnota souřadnice x ve vnitřním vláknu průřezu A;
I_A	[m ⁴]	referenční moment setrvačnosti křivého prutu, průřezu A

$v_a = 0,5 \cdot \tan \alpha$, součinitel pro složku zatížení, pro průřez A, $\alpha = 45^\circ$;

DŘÍK HÁKU, NÁVRHOVÁ NAPĚTÍ

Maximální návrhové napětí se vypočítá jako nominální napětí bez součinitele koncentrace napětí. Pro určení návrhového napětí je potřeba znát rozměry závitů a dříku háku, z [17, příloha F.2], volím dřík se závitem M39x4.

Tabulka 4 Hodnoty závitů a dříku háku potřebné pro závit

$d_3 = 39 \text{ mm}$	vnější průměr závitů
$d_4 = 33,8 \text{ mm}$	průměr kritického průřezu dříku háku
$d_5 = 34,04 \text{ mm}$	vnitřní průměr závitů
$r_9 = 3,9 \text{ mm}$	poloměr zaoblení dříku pod závitem
$r_{th} = 0,56 \text{ mm}$	poloměr zaoblení dna závitů

$$\sigma_{Sd,sD} = \frac{F_{Sd,s}}{A_{d4}} + \frac{M_{Sd,s} \cdot d_4/2}{I_{d4}} \quad [MPa] \quad (17)$$

$$\sigma_{Sd,sD} = \frac{134554}{0,8973 \cdot 10^{-3}} + \frac{1495 \cdot 0,0338/2}{6,41 \cdot 10^{-8}} = 544111873,7 \text{ Pa} = 544,11 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Sd,sD} = 544,1 \text{ MPa}$$

Kde

d_4	[m]	průměr kritického průřezu dříku háku
A_{d4}	[m ²]	plocha průřezu kritického průřezu dříku háku
I_{d4}	[m ⁴]	moment setrvačnosti kritického průřezu dříku

$$A_{d4} = \frac{\pi \cdot d_4^2}{4} \quad [m^2] \quad (18)$$

$$A_{d4} = \frac{\pi \cdot 0,0338^2}{4} = 0,8973 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{d4} = 0,897 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_{d4} = \frac{\pi \cdot d_4^4}{64} \quad [m^4] \quad (19)$$

$$I_{d4} = \frac{\pi \cdot 0,0338^4}{64} = 6,406 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_{d4} = 6,41 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

HÁK PROKÁZÁNÍ STATICKÉ ÚNOSNOSTI

V tělu a dříku musí být prokázán účinek příslušných zatížení.

Pro tělo háku, průřez A

$$\sigma_{Sd,sA} \leq f_{RdA} = f_1 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{mA} \cdot \gamma_{sm}} \quad [MPa] \quad (20)$$

$$\sigma_{Sd,sA} \leq xx = 1 \cdot \frac{620}{0,81 \cdot 1,1} = 695,85 \text{ MPa}$$

$$361,25 \text{ MPa} \leq 695,85 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kde

f_{RdA}	[MPa]	návrhové napětí únosnosti průřezu A
f_y	[MPa]	mez kluzu materiálu opracovaného výrobku [17, str.:16]
γ_m	[-]	obecný dílčí součinitel spolehlivosti materiálu [17, str.: 26]
γ_{smA}	[-]	specifický součinitel spolehlivosti pro průřez A [17, str.: 26]

Pro tělo háku, průřez B

$$\sigma_{Sd,sB} \leq f_{RdB} = f_1 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{mB} \cdot \gamma_{sm}} \quad [MPa] \quad (21)$$

$$\sigma_{Sd,sB} \leq xx = 1 \cdot \frac{620}{0,75 \cdot 1,1} = 751,515 \text{ MPa}$$

$$480,2 \text{ MPa} \leq 751,515 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kde

 γ_{smB} [-] specifický součinitel spolehlivosti pro průřez B [17, str.: 26]
Pro dřík háku

$$\sigma_{Sd,sD} \leq f_{RDd} = f_1 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{mD} \cdot \gamma_{sm}} \quad [MPa] \quad (22)$$

$$\sigma_{Sd,sB} \leq xx = 1 \cdot \frac{620}{0,95 \cdot 1,1} = 593,3 \text{ MPa}$$

$$544,1 \text{ MPa} \leq 593,3 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kde

 γ_{smD} [-] specifický součinitel spolehlivosti pro průřezy dříku [17, str.: 26]
2.4.2 ÚNAVOVÁ PEVNOST

Háku musí mít návrhovou životnost nejméně stejnou jako příslušný jeřáb nebo zdvihací jednotka. Prokázání únavové pevnosti musí být provedeno pro kritické průřezy háku (viz obr 5...), přičemž se musí zohlednit nejvíce nepříznivé účinky zatížení. Počet cyklů napětí pro prokázání musí být založen na celkovém počtu pracovních cyklů během návrhové životnosti jeřábu. Obecně platí, že pro těleso háku způsobí jeden cyklus zdvihání jeden cyklus napětí.

Pro dřík háku musí být navíc při výpočtu zohledněn počet pohybů umístování břemena, kdy se započítá počet cyklů ohybového napětí.

SVISLÁ ÚNAVOVÁ NÁVRHOVÁ SÍLA

$$F_{Sd,f,i} = \phi_2 \cdot m_i \cdot g \cdot \gamma_n \quad [N] \quad (23)$$

$$F_{Sd,f,i} = 1,27 \cdot 8000 \cdot 9,81 \cdot 1 = 99559,6 \text{ N}$$

$$F_{Sd,f,i} = 99560 \text{ N}$$

Kde

 m_i [kg] hmotnost břemena na háku v cyklu zdvihání i

VODOROVNÁ ÚNAVOVÁ NÁVRHOVÁ SÍLA

$$H_{Sd,f,i} = \gamma_n \cdot \min \left\{ m_i \cdot a_v \cdot \Phi_{5-v} \right\} \quad [N] \quad (24)$$

$$H_{Sd,f,i} = 1 \cdot \min \left\{ \frac{8000 \cdot 0,66 \cdot 1,2}{0,01 \cdot 8000 \cdot 9,8/0,18} \right\} = 4355,55 \text{ N}$$

$$H_{Sd,f,i} = 4356 \text{ N}$$

ÚNAVOVÝ NÁVRHOVÝ OHYBOVÝ MOMENT DŘÍKU**Ohybový moment od vodorovné síly**

$$M_{1,f,i} = H_{Sd,f,i} \cdot h_s \quad [N \cdot m] \quad (25)$$

$$M_{1,f,i} = 4356 \cdot 0,2 = 871,2 \text{ N} \cdot m$$

$$M_{1,f,i} = 871,2 \text{ N} \cdot m$$

Ohybový moment od sklonu závěsu háku

Pro zadané uspořádání zdvihového mechanismu a háku/ kladnice háku, nemůže při běžném provozu dojít ke sklonu závěsu, tudíž není potřeba tento moment počítat. []

$$M_{2,f,i} = 0 \text{ N} \cdot m \quad (26)$$

Ohybový moment od excentricity svislé síly

Odchylka působení svislého zatížení od osy dřívku způsobuje ohybový moment, tento moment je potřeba do výpočtu zahrnout.

$$M_{3,f,i} = c_e \cdot F_{Sd,f,i} \cdot a_1 \quad [N \cdot m] \quad (27)$$

$$M_{3,f,i} = 0,05 \cdot 99560 \cdot 0,063 = 313,61 \text{ N} \cdot m$$

$$M_{3,f,i} = 313,6 \text{ N} \cdot m$$

PROKÁZÁNÍ ÚNAVOVÉ PEVNOSTI, TĚLO HÁKU

Prokázání únavové pevnosti je založeno na kumulovaném účinku rozkmitu napětí v kritickém průřezu.

Návrhové napětí

Předpokládá se, že břemeno je odloženo v cyklu zdvihání, tj. rozsah zatížení háku je od nuly do plného břemena, s uvažováním dynamických součinitelů. Výpočet rozkmitu napětí je

srovnatelný se statickým výpočtovým napětím podle (15) při použití svislé návrhové síly podle (23).

$$\Delta\sigma_{sd,i} = \sigma_{sd,s} \text{ [MPa]} \quad (28)$$

Rozkmit napětí průřez B

$$\Delta\sigma_{sdB,i} = \frac{v_B \cdot F_{sf,i} \cdot R_B \cdot \eta_{1-B}}{I_B} \cdot \frac{1}{1 - \eta_{1-B}/R_B} \text{ [MPa]} \quad (29)$$

$$\Delta\sigma_{sdB,i} = \frac{1 \cdot 99560 \cdot 0,06 \cdot 0,02851}{9,13 \cdot 10^{-7}} \cdot \frac{1}{1 - \frac{0,02851}{0,06}} = 355419431,5 \text{ Pa} = 355,4 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{sdB,i} = 355,4 \text{ MPa}$$

Rozkmit napětí průřez A

$$\Delta\sigma_{sdA,i} = \frac{v_A \cdot F_{sf,i} \cdot R_A \cdot \eta_{1-A}}{I_A} \cdot \frac{1}{1 - \eta_{1-A}/R_A} \text{ [MPa]} \quad (30)$$

$$\Delta\sigma_{sdA,i} = \frac{0,5 \cdot \tan(45^\circ) \cdot 99560 \cdot 0,05728 \cdot 0,02578}{5,07 \cdot 10^{-7}} \cdot \frac{1}{1 - \frac{0,02578}{0,05728}} = 263,65 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\Delta\sigma_{sdA,i} = 263,65 \text{ MPa}$$

Rozkmit napětí pro dřík

$$\Delta\sigma_{sdD,i} = \frac{F_{sf,i}}{A_{d4}} + \frac{M_{sd,s} \cdot d_4/2}{I_{d4}} \text{ [MPa]} \quad (31)$$

$$\Delta\sigma_{sdD,i} = \frac{99560}{0,8973 \cdot 10^{-3}} + \frac{1495 \cdot 0,0338/2}{6,41 \cdot 10^{-8}} = 505112653,8 \text{ Pa} = 505,11 \text{ MPa}$$

$\Delta\sigma_{sdD,i}$ Kumulovaný únavový účinek historie napětí od všech cyklů napětí se zkoncentruje do jednoho parametru historie napětí s_h .

Historie napětí na základě klasifikace využití

Tělo háku představuje zvláštní případ, kde se napětí mění pouze v závislosti na měnících se zdvíhaných předmětech. Díky tomu se může parametr historie napětí odvodit přímo z třídy Q a U z [13001-1]. Nejprve je nutné vypočítat parametr historie zatížení s_Q .

$$s_Q = kQ \cdot N/N_D \quad (32)$$

$$s_Q = 0,125 \cdot \frac{0,5 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^6} = \frac{1}{32} = 0,03125$$

$$s_Q = 0,03125$$

Kde

k_Q [-] součinitel spektra zatížení; [17, tabulka 8]

Součinitel spektra zatížení (k_Q) se vypočítá použitím exponentu 3, ale únava tělesa háku je založena na únavové křivce se sklonem $m = 5$. Proto se pro zatížení s daným rozložením vypočítá převodní součinitel (k_5^*) pro vytvoření návaznosti spektra zatížení a parametru historie napětí v háku (s_h).

$$s_h = s_Q / (k_5^*)^m \quad (33)$$

$$s_h = 0,03125 / (1,2170)^5 = 0,011705$$

$$s_h = 0,0117$$

Kde

k_5^* [-] převodní součinitel pro určené spektrum [17, tabulka 8]
 m [-] parametr sklonu charakteristické návrhové křivky při únavě [17, str.: 28]

Návrhové napětí únosnosti při únavě průřez A

$$\Delta\sigma_{RdA} = f_1 \cdot f_{2_A} \cdot \Delta\sigma_c \quad [MPa] \quad (34)$$

$$\Delta\sigma_{RdA} = 1 \cdot 0,906 \cdot 275 = 249,15 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{RdA} = 249,2 \text{ MPa}$$

Při dosazení

$$f_{2_A} = \left(\frac{b_{ref}}{b_{max_A}} \right)^{0,167} \quad (35)$$

$$f_{2_A} = \left(\frac{25}{45} \right)^{0,167} = 0,9065$$

$$f_{2_A} = 0,906$$

Kde

f_{2_A} [-] součinitel vlivu tloušťky materiálu, pro průřez A [17, str.: 30]
 $\Delta\sigma_c$ [MPa] charakteristická únavová pevnost [str 30 tab 9]
 b_{ref} [mm] referenční tloušťka materiálu [17, str.: 30]
 b_{max_A} [mm] maximální šířka průřezu A

Návrhové napětí únosnosti při únavě průřez B

$$\Delta\sigma_{RdB} = f_1 \cdot f_{2_B} \cdot \Delta\sigma_c \quad [MPa] \quad (36)$$

$$\Delta\sigma_{RdB} = 1 \cdot 0,882 \cdot 275 = 242,55 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{RdB} = 249,2 \text{ MPa}$$

Při dosazení

$$f_{2_B} = \left(\frac{b_{ref}}{b_{max_B}} \right)^{0,167} \quad (37)$$

$$f_{2_B} = \left(\frac{25}{53} \right)^{0,167} = 0,8821$$

$$f_{2_B} = 0,882$$

Kde

f_{2_B}	[-]	součinitel vlivu tloušťky materiálu, pro průřez B [17, str.: 30]
b_{max_B}	[mm]	maximální šířka průřezu A

Prokázání únosnosti pro tělo háku, s použitím únavové návrhové síly

Pokud je těleso háku podle [17, příloha A nebo B], může být prokázání únavové pevnosti založeno na únavové návrhové síle únosnosti uvedené v [17, příloha E].

$$F_{Sd,f} \leq \frac{f_1 \cdot F_{Rd,f_A}}{\sqrt[m]{S_h}} = \frac{f_1 \cdot k_5^* \cdot F_{Rd,f_A}}{\sqrt[m]{S_Q}} \quad (38)$$

$$F_{Sd,f} \leq \frac{1 \cdot 53454}{\sqrt[5]{0,0117}} = 130119,6951 \text{ N}$$

$$99560 \leq 130120$$

kde

Únavová návrhová síla únosnosti se u jednoduchého háku vypočítá zvlášť pro oba průřezy A a B a použije se menší hodnota.

Průřez A

$$F_{Rd,f_A} = \frac{f_{2_A} \cdot \Delta\sigma_c}{\gamma_{Hf_A}} \cdot \frac{I_A \cdot (1 - \eta_{1_A}/R_A)}{v_A \cdot R_A \cdot \eta_{1_A}} \quad (39)$$

$$F_{Rd,f_A} = \frac{0,906 \cdot 275 \cdot 10^6}{1,35} \cdot \frac{5,07 \cdot 10^{-7} \cdot \left(1 - \frac{0,02578}{0,05728}\right)}{0,5 \cdot \tan(45) \cdot 0,05728 \cdot 0,02578} = 69692 \text{ N}$$

$$F_{Rd,f_A} = 69692 \text{ N}$$

Kde

γ_{HF_A} [-] únavový specifický dílčí součinitel pro průřez A [17, str.: 31]

Průřez B

$$F_{Rd,f_B} = \frac{f_{2_B} \cdot \Delta\sigma_c}{\gamma_{HF_B}} \cdot \frac{I_B \cdot (1 - \eta_{1_B}/R_B)}{v_B \cdot R_B \cdot \eta_{1_B}} \quad (40)$$

$$F_{Rd,f_B} = \frac{0,882 \cdot 275 \cdot 10^6}{1,25} \cdot \frac{9,13 \cdot 10^{-7} \cdot \left(1 - \frac{0,02851}{0,06}\right)}{1 \cdot 0,06 \cdot 0,02851} = 53454,4 \text{ N}$$

$$F_{Rd,f_B} = 53454 \text{ N}$$

Kde

γ_{HF_B} [-] únavový specifický dílčí součinitel pro průřez B [17, str.: 31]

Zvolený hák má $F_{Rd,f} = 54000 \text{ N} \geq 53454 \text{ N}$ zvolený průřez háku a materiál vyhovuje z hlediska únavové pevnosti těla háku.

PROKÁZÁNÍ ÚNAVOVÉ PEVNOSTI, DŘÍK HÁKU

Počet cyklů napětí se odvodí z celkového počtu cyklů zdvihání (N), které odpovídají celkovému počtu pracovních cyklů (C) během návrhové životnosti jeřábu.

Výpočet návrhového napětí

Návrhová napětí musí být vypočítána v průřezu podsoustružení dříku o průměru d_4 bezprostředně pod závity. Základní napětí se vypočítají bez součinitelů koncentrace napětí s použitím obvyklé nosníkové teorie.

Použité cykly napětí

V každém cyklu zdvihání se musí uvažovat dva typy cyklů napětí, pokud je to relevantní. V každém cyklu zdvihání se použije zatížení háku určené pro tento cyklus.

Cyklus typu 1: Cyklus napětí od zdvihání břemena a spouštění na zem, se zohledněním ohybového napětí od sklonu závěsu háku a excentricity svislého zatížení.

Napětí (axiální) v dříku od svislé návrhové síly

$$\sigma_{a1} = \frac{F_{sd,f,i}}{A_{d4}} \quad [MPa] \quad (41)$$

$$\sigma_{a1} = \frac{99\,560}{897,27} = 110,96 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{a1} = 111 \text{ MPa}$$

Napětí (ohybové) v dříku od návrhového momentu

$$\sigma_{b1} = \frac{M_{3,f,i} \cdot d_4/2}{I_{d4}} \quad [MPa] \quad (42)$$

$$\sigma_{b1} = \frac{313,6 \cdot \frac{0,0338}{2}}{6,41 \cdot 10^{-8}} = 82680811,2 \text{ Pa} = 82,68 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{b1} = 82,7 \text{ MPa}$$

Střední napětí

$$\sigma_{m1,i} = \frac{\sigma_{a1} + \sigma_{b1}}{2} \quad [MPa] \quad (43)$$

$$\sigma_{m1,i} = \frac{111 + 82,7}{2} = 96,85 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m1,i} = 96,85 \text{ Mpa}$$

Amplituda napětí

$$\sigma_{A1,i} = \sigma_{m1,i} \quad [MPa] \quad (44)$$

$$\sigma_{A1,i} = 96,85 \text{ Mpa}$$

Celkový počet cyklů napětí

$$N_1 = N \quad (45)$$

$$N_1 = 500\,000$$

Cyklus typu 2: Zohlední se cyklus napětí od vodorovného zrychlení a od výsledného naklonění břemena.

Napětí (axiální) v dříku od svislé návrhové síly

$$\sigma_{a2} = \sigma_{a1}(F) \quad [MPa] \quad (46)$$

$$\sigma_{a2} = 111 MPa$$

Napětí (ohybové) v dřívku od návrhového momentu

$$\sigma_{b2} = \frac{M_{1,f,i} \cdot d_4/2}{I_{d4}} \quad [MPa] \quad (47)$$

$$\sigma_{b2} = \frac{871,2 \cdot \frac{0,0338}{2}}{6,41 \cdot 10^{-8}} = 229,7 \cdot 10^6 Pa = 229,7 MPa$$

$$\sigma_{b2} = 229,7 MPa$$

Střední napětí

$$\sigma_{m2,i} = \sigma_{a1} \quad [MPa] \quad (48)$$

$$\sigma_{m2,i} = 111 MPa$$

Amplituda napětí

$$\sigma_{A2,i} = \sigma_{b1} \quad [MPa] \quad (49)$$

$$\sigma_{A2,i} = 82,7 MPa$$

Celkový počet cyklů napětí

$$N_2 = p_a \cdot N \quad (50)$$

$$N_2 = 4 \cdot 500000 = 2 \cdot 10^6$$

$$N_2 = 2 \cdot 10^6$$

Kde

p_a [-] průměrný počet vodorovných zrychlení [17, str.: 33]

Základní pevnost materiálu při únavě

Základní pevnost materiálu při únavě se středním nulovým napětím ($\sigma_m = 0$) a s referenčním počtem cyklů napětí $N_D = 2\,000\,000$ se vypočítá na základě meze pevnosti materiálu.

$$\sigma_m = 0,45 \cdot f_u \quad [MPa] \quad (51)$$

$$\sigma_m = 0,45 \cdot 800 = 360 MPa$$

$$\sigma_m = 360 MPa$$

Kde

 f_u [-] mez pevnosti materiálu háku [17, str.: 30]**Účinky koncentrace napětí od geometrie**

Do součinitelů koncentrace napětí je zde zahrnut součinitel α a jako konečný výsledek součinitel vrubového účinku β_n . Oba dva je nutné vypočítat zvlášť pro osazení a pro dno závitu. Maximální hodnota z obou β_n se použije pro prokázání únavové pevnosti dříku, přičemž zavit se předpokládá jednoduchého typu.

Střední průměr závitu, osazení i zavit

$$d_e = 0,6 \cdot d_3 + 0,4 \cdot d_5 \quad [mm] \quad (52)$$

$$d_e = 0,6 \cdot 39 + 0,4 \cdot 34,05 = 37,016 \text{ mm}$$

$$d_e = 37,016 \text{ mm}$$

Kde

d_3 [mm] vnější průměr závitu
 d_5 [mm] vnitřní průměr závitu

Hloubka vrubu, osazení

$$u_s = (d_e - d_4)/2 \quad [mm] \quad (53)$$

$$u_s = (37,016 - 33,8)/2 = 1,608 \text{ mm}$$

$$u_s = 1,608 \text{ mm}$$

Hloubka vrubu, zavit

$$u_T = (d_e - d_5)/2 \quad [mm] \quad (54)$$

$$u_T = (37,016 - 34,04)/2 = 1,488 \text{ mm}$$

$$u_T = 1,488 \text{ mm}$$

Součinitel ϕ , osazení

$$\phi_s = \frac{1}{2 + 4 \cdot \sqrt{\frac{u_s}{r_9}}} \quad [-] \quad (55)$$

$$\phi_s = \frac{1}{2 + 4 \cdot \sqrt{\frac{1,608}{3,9}}} = 0,2188$$

$$\phi_s = 0,219$$

Kde

r_9 [mm] poloměr zaoblení dříku pod závitem

Součinitel ϕ , závit

$$\phi_T = \frac{1}{2 + 4 \cdot \sqrt{\frac{u_T}{r_{th}}}} \quad [-] \quad (56)$$

$$\phi_T = \frac{1}{2 + 4 \cdot \sqrt{\frac{1,488}{0,56}}} = 0,1173$$

$$\phi_T = 0,117$$

Kde

r_{th} [mm] poloměr zaoblení dna závitu

Součinitel χ , osazení

$$\chi_s = \frac{2 \cdot (1 + \phi_s)}{r_9} \quad [-] \quad (57)$$

$$\chi_s = \frac{2 \cdot (1 + 0,219)}{3,9} = 0,6251$$

$$\chi_s = 0,625$$

Součinitel χ , závit

$$\chi_T = \frac{2 \cdot (1 + \phi_T)}{r_{th}} \quad [-] \quad (58)$$

$$\chi_T = \frac{2 \cdot (1 + 0,117)}{0,56} = 3,989$$

$$\chi_T = 3,99$$

Pomocný součinitel n , osazení

$$n_s = 1 + \sqrt{\chi_s} \cdot 10^{-(0,33 + f_y/712)} \quad [-] \quad (59)$$

$$n_s = 1 + \sqrt{0,625} \cdot 10^{-(0,33 + \frac{625}{712})} = 1,04899$$

$$n_s = 1,05$$

Pomocný součinitel n , závit

$$n_T = 1 + \sqrt{\chi_T} \cdot 10^{-(0,33+f_y/712)} \quad [-] \quad (60)$$

$$n_T = 1 + \sqrt{3,99} \cdot 10^{-(0,33+\frac{620}{712})} = 1,12378$$

$$n_T = 1,12$$

Součinitel geometrické koncentrace napětí, osazení

$$\alpha_s = 1 + \frac{1,1}{\sqrt{0,22 \cdot \frac{r_9}{u_s} + 2,74 \cdot \frac{r_9}{d_4} \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{r_9}{d_4}\right)^2}} \quad [-] \quad (61)$$

$$\alpha_s = 1 + \frac{1,1}{\sqrt{0,22 \cdot \frac{3,9}{1,608} + 2,74 \cdot \frac{3,9}{33,8} \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{3,9}{33,8}\right)^2}} = 2,12$$

$$\alpha_s = 2,12$$

Součinitel geometrické koncentrace napětí, závit

$$\alpha_T = 1,8 \cdot \left(\frac{p}{d_5}\right)^{0,3} \cdot \left(\frac{u_T}{r_{th}}\right)^{0,2} \cdot \left(\frac{p}{u_s}\right)^{0,1} \cdot \left(\frac{d_4}{d_5}\right)^{0,2} \cdot \left(1 + \frac{1,1}{\sqrt{0,22 \cdot \frac{r_{th}}{u_T} + 2,74 \cdot \frac{r_{th}}{d_5} \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{r_{th}}{d_5}\right)^2}}\right) \quad (62)$$

$$\alpha_T = 1,8 \cdot \left(\frac{4}{34,04}\right)^{0,3} \cdot \left(\frac{1,488}{0,56}\right)^{0,2} \cdot \left(\frac{4}{1,608}\right)^{0,1} \cdot \left(\frac{33,8}{34,04}\right)^{0,2} \cdot \left(1 + \frac{1,1}{\sqrt{0,22 \cdot \frac{0,56}{1,488} + 2,74 \cdot \frac{0,56}{34,04} \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{0,56}{34,04}\right)^2}}\right) = 5,088$$

$$\alpha_T = 5,09$$

Součinitel vrubového účinku, osazení

$$\beta_{nS} = \frac{\alpha_s}{n_s} \quad [-] \quad (63)$$

$$\beta_{nS} = \frac{2,12}{1,05} = 2,019$$

$$\beta_{nS} = 2,02$$

Součinitel vrubového účinku, osazení

$$\beta_{nT} = \frac{\alpha_T}{n_T} \quad [-] \quad (64)$$

$$\beta_{nT} = \frac{5,09}{1,12} = 4,544$$

$$\beta_{nT} = 4,54$$

Únavová pevnost pro dřík s vrubem

Výpočet se provede pro kritičtější průřez ze dvou průřezů dříku. Základní únavová pevnost se redukuje na srovnatelnou hodnotu s ohledem na jmenovitá napětí v dříku. V tomto případě je kritičtější průřez závit.

$$\sigma_w = f_1 \cdot \frac{\sigma_M}{\left(\beta_{nT} + \frac{1}{f_3} - 1\right)} \quad [MPa] \quad (65)$$

$$\sigma_w = 1 \cdot \frac{360}{\left(4,54 + \frac{1}{0,91} - 1\right)} = 77,604 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = 77,6 \text{ MPa}$$

Při dosazení

$$f_3 = 1 - 0,29 \cdot \lg \frac{R_a}{0,4} \cdot \lg \frac{f_u}{200} \cdot \frac{1}{n_T} \quad (66)$$

$$f_3 = 1 - 0,29 \cdot \lg \frac{1,6}{0,4} \cdot \lg \frac{800}{200} \cdot \frac{1}{1,12} = 0,906$$

$$f_3 = 0,91$$

Kde

f_3	[mm]	součinitel vlivu drsnosti povrchu
R_a	[μm]	Drsnost opracování

Vliv středního napětí

Dřík háku představuje typ komponentu, kde se musí uvažovat zmenšení únavové pevnosti při zvětšení středního napětí. Je nutné stanovit součinitel vlivu středního napětí.

$$\mu = \frac{\sigma_w}{1,7 \cdot \frac{\sigma_w}{2}} - 1 \quad (67)$$

$$\mu = \frac{77,6}{1,7 \cdot \frac{77,6}{2}} - 1 = 0,1765$$

$$\mu = 0,1765$$

Transformace na napětí s nulovým středním napětím

Amplitudy napětí s příslušným středním napětím jsou transformovány na amplitudu napětí s rovnocenným vlivem na únavu. Provede se transformace na cyklus napětí s nulovým středním napětím.

Cyklus typu 1

$$\sigma_{T1,i} = \sigma_{A1,i} + \mu \cdot \sigma_{m1,i} \quad [MPa] \quad (68)$$

$$\sigma_{T1,i} = 96,85 + 0,1765 \cdot 96,85 = 113,94 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{T1,i} = 113,9 \text{ MPa}$$

Cyklus typu 2

$$\sigma_{T2,i} = \sigma_{A2,i} + \mu \cdot \sigma_{m2,i} \quad [MPa] \quad (69)$$

$$\sigma_{T2,i} = 82,7 + 0,1765 \cdot 111 = 102,29 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{T2,i} = 102,3 \text{ MPa}$$

Parametr historie napětí odvozený z klasifikace využití

$$s_s = k_s \cdot v_s \quad (70)$$

$$s_s = 0,033 \cdot 1,25 = 0,0412$$

$$s_s = 0,041$$

při dosazení

$$k_s = \frac{1}{1 + p_a} \cdot \frac{kQ}{(k_5^*)^m} \cdot \left[\left(\frac{\sigma_{T1,max}}{\sigma_{T,max}} \right)^m + p_a \cdot \left(\frac{\sigma_{T2,max}}{\sigma_{T,max}} \right)^m \right] \quad (71)$$

$$k_s = \frac{1}{1 + 4} \cdot \frac{0,125}{(1,207)^5} \cdot \left[\left(\frac{113,9}{113,9} \right)^5 + 4 \cdot \left(\frac{102,3}{113,9} \right)^5 \right] = 0,03257$$

$$k_s = 0,033$$

$$v_s = \frac{N}{N_D} (1 + p_a) \quad (72)$$

$$v_s = \frac{0,5 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^6} (1 + 4) = 1,25$$

$$v_s = 1,25$$

Kde

$\sigma_{T1,max}$ [MPa] maximum amplitudy transformovaných cyklů typu 1

$\sigma_{T2,max}$ [MPa] maximum amplitudy transformovaných cyklů typu 2

Provádění prokázání

Musí být prokázáno, že:

$$\sigma_{Tmax} \leq \frac{\sigma_w}{\gamma_{sf} \cdot \sqrt[m]{S_s}} \text{ [MPa]} \quad (73)$$

$$\sigma_{Tmax} \leq \frac{360}{1,35 \cdot \sqrt[5]{0,041}} = 505,140 \text{ MPa}$$

$$113,9 \leq 505,14$$

Navržený hák splňuje podmínky prokázání únavové pevnosti.

Kde

σ_{Tmax} [MPa] maximální amplituda napětí v celkové historii napětí

γ_{sf} [-] únavový specifický dílčí součinitel spolehlivosti materiálu

2.4.3 VYHODNOCENÍ VÝPOČTU

Navržený hák by mohl být použit pro daný jeřáb, ovšem bylo by zřejmě vhodnější použít hák s vyšší únosností, z důvodu nevelkého rozdílu návrhové únavové síly pro průřez B F_{Rd,f_B} a návrhové únavové síly zvoleného háku $F_{Rd,f}$.

2.5 VÝROBNÍ POSTUPY KOVANÝCH HÁKŮ

Kovaný hák musí být vykován za tepla z jednoho kusu rozlišujeme dvě základní metody kování zápusťkové a kování volné. [47]

2.5.1 ZÁPUSŤKOVÉ KOVÁNÍ

Zápusťkové kování je vysoce výkonná a produktivní metoda výroby. Materiál musí být nejprve ohřátý na kovací teplotu, následně je vložen do dutiny zápusťky, kde je následně tvářen do požadovaného tvaru. Zápusťka má tvar výkovku, ale rozměry jsou zvětšeny o hodnotu smrštění vychladlého kovu. Stroje používané pro zápusťkové kování jsou buchary (kování úderem), lisy (kování klidným tlakem). Při kování na bucharech je zápusťková dutina vyplňována postupně během několika úderů beranu, při kování na lisech může být výkovek zhotoven v průběhu jednoho zdvihu, nebo v průběhu více zdvihů (postupná zápusťka). Na

následujícím obrázku je zobrazena postupná tvarová změna polotovaru ve výkovek, poslední krok mezi pozicí 5 a 6 je odstřížení výronku. [47]



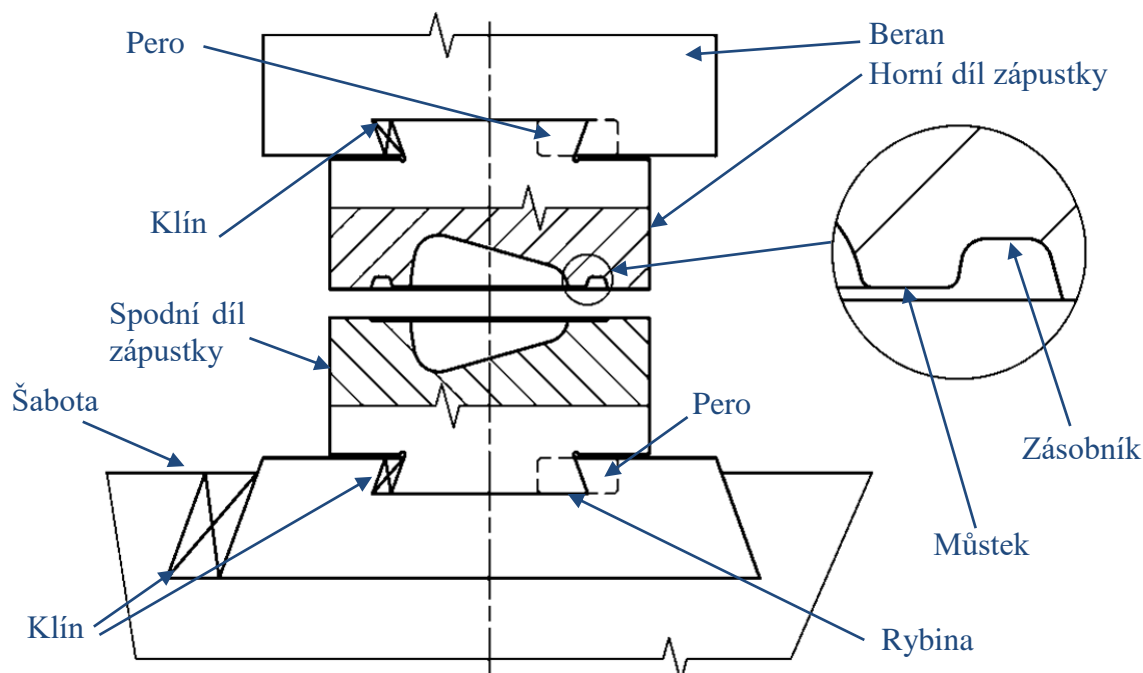
Obr. 30 Zápustkové kování háků [32]

Výronek je odstřížen pomocí střižníku a střižnice. Odstřížení je provedeno v krátké době po vykování. Výronek má dvě funkce, první je odvedení přebytečného materiálu, druhá je ovlivnění toku materiálu uvnitř zápustky.



Obr. 31 Odstřížený výronek dvojitého háku [70]

Vykovaný hák je nutno opracovat, po odstranění výronku musí být povrch, po výronku vybroušen, aby se zabránilo vrubovému účinku.



Obr. 32 Zjednodušený Popis zápustky

Beranem je vyvozena kovací síla, nutná k přetvoření polotovaru do konečného tvaru výkovku. Klíny, pera a rybina slouží ke správnému upnutí zápustky v kovací stroji. Můstek a zásobník slouží k vytvoření výronku. [47]

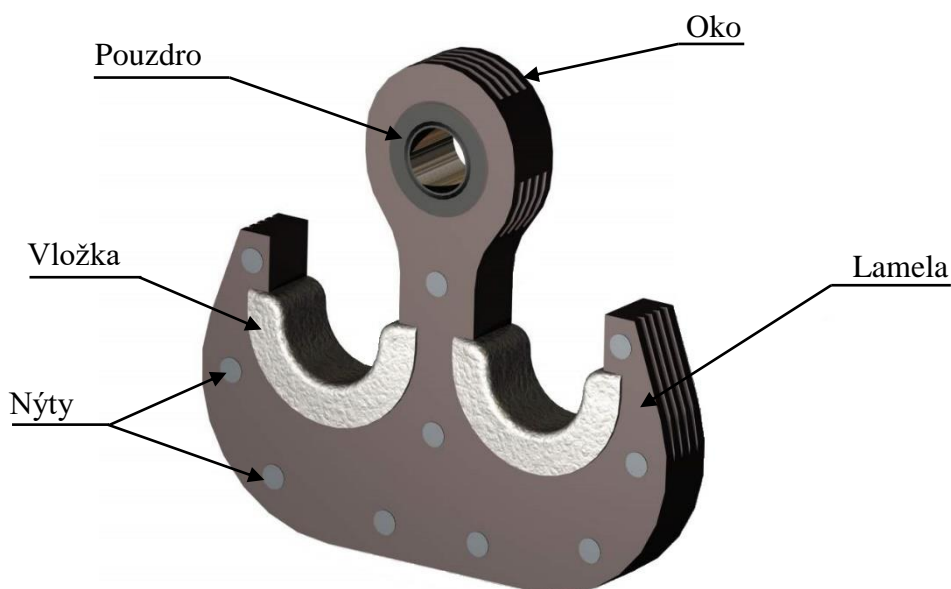
2.5.2 VOLNÉ KOVÁNÍ

Touto metoda je vhodná pro háky velkých rozměrů, které se nevyrábí ve velkých sériích. Výkovek je postupně přetvářen do požadovaného tvaru. Při volném kování je dosaženo žádaného, tvaru výkovku pomocí univerzálních kovadel a speciálním polohováním. Výchozím materiálem jsou buď předvalky nebo ingoty. Používá se především pro kusovou nebo malosériovou výrobu a tam kde stroj pro zápustkové kování nestačí. [47]

3 LAMELOVÉ HÁKY

Lamelové háky jsou složeny z jednotlivých lamel, které jsou k sobě snýtovány, podle tvaru se dělí na jednoduché a dvojité. Používají se k zavěšení licích pánví, pro nosnosti do 100 tun se používají jednoduché lamelové háky, pro těžké licí pánve nad 100 tun se používají dvojité lamelové háky. Průřez háku má tvar obdelníku, díky tomu se na něj dobře zavěšuje čep licí pánve. Další výhodou lamelových háků je, že pokud dojde k porušení jedné lamely, tak hák může dál plnit svoji funkci, zbytek lamel zatížení přenesou. Porušení se díky tomu dá zpozorovat dříve, než dojde ke ztrátě pevnosti celého háku. Lamelové háky lépe odolávají sálavému teplu a křehkému lomu. [53], [13],[14]

Pro snížení tepelného ovlivnění háku se někdy mezi jednotlivé lamely vkládají izolační vložky, které snižují prostup tepla do jednotlivých lamel. Jednoduchý lamelový hák může být opatřen plechovým štítem v horní části háku, který chrání oko háku před sálavým teplem z pánve. Díry pro nýty se nemají umisťovat do výpočtových průřezů a do vodorovného průřezu oka háku. [2]



Obr. 33 Lamelový hák dvojitý, popis [26]

3.1 ČÁSTI LAMELOVÉHO HÁKU

- Lamela – vyhotovuje se z plechu, materiál lamely: plech jakosti ČSN 10 373.
- Vložka – slouží k rovnoměrnému rozložení zatížení mezi jednotlivé lamely, materiál vložky: litá ocel.
- Nýty – nejsou zcela těsné, aby se mohly lamely mírně posouvat a tím vyrovnávat zatížení.
- Pouzdro – je zalisováno v oku háku, materiál pouzdra bývá ocel E295.

Lamelové háky nejsou v ČR normalizovány, jejich výroba a návrh jsou na zodpovědnosti výrobce.

4 HÁKY PRO PLOVOUCÍ JEŘÁBY

Tyto háky se používají u největších plovoucích jeřábů, háky dosahují nosností tisíce tun. Hák je složen z více částí, tělo háku není kované, ale odlévá se. Největší doposud vyrobený hák je vyroben pro nosnost deset tisíc tun, šířka těla je víc jak pět metrů a výška téměř tři metry. Hmotnost samotného háku je víc jak sto tun. [67]



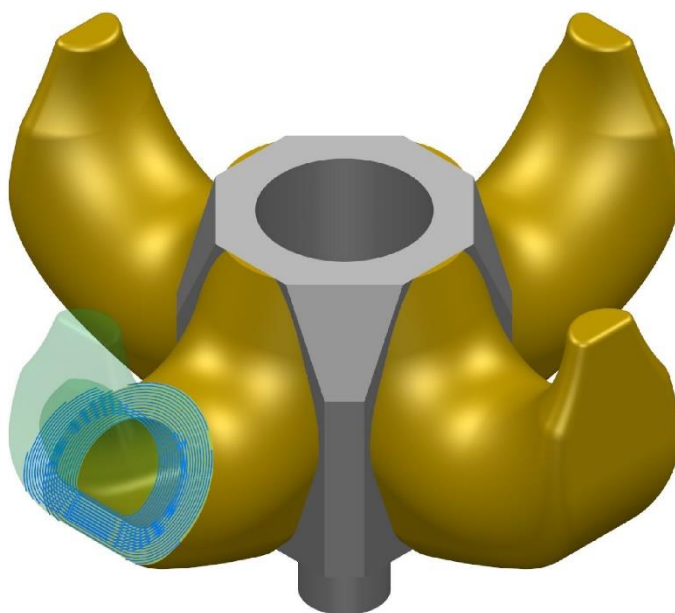
Obr. 34 Tělo lodního háku [67]

Tělo háku je později spojeno s dalšími částmi háku a připojeno ke kladnici plovoucího jeřábu. Materiál těla háku je vysoko legovaná ocel. Při výrobě takto velkého odlitku je pozornost věnována zvláště rozdílnému chladnutí. Rozdílné chladnutí totiž přináší řadu nebezpečí: možnost trhlin, deformace odlitku, nedosažení požadovaných mechanických vlastností ve velkém průřezu a další. [37], [18]

4.1 ADITIVNÍ VÝROBA HÁKŮ PRO PLOVOUCÍ JEŘÁBY

V posledních letech byla testována a vyvíjena výroba háků, pomocí alternativní aditivní metody. Konkrétně metoda WAAM (wire+arc additive manufacturing), metoda spočívá v nanášení jednotlivých vrstev materiálu, pomocí svářečského robotu. Každá vrstva nanášeného materiálu je sledována především z hlediska dodržení správné teploty a dodržení polohy. První háky vyrobené touto metodou již prošly požadovanými testy a jsou používány v provozu. Hlavní výhody této metody výroby jsou:

- Zkrácení doby přípravy výroby.
- Úspora materiálu, hák může být dutý.
- Rychlá výroba prototypů.



Obr. 35 Model háku vyráběný metodou WAAM [35]

Výroba háku metodou WAAM má jednu nevýhodu a tou je drsný, nevyhlazený povrch, který je způsoben, nanášením materiálu po vrstvách.

5 VÝROBCI HÁKŮ

V následující tabule jsou uvedeni někteří výrobci jeřábových háků, jak háků kovaných, tak háků lamelových, nebo jiných. Jsou zde uvedeni výrobci se zaměřením na evropský trh.

Tabulka 5 Výrobci jeřábových háků

Název výrobce	Web	Jednoduché kované háky pro vázací prostředky	Jednoduché kované háky s dříkem	Dvojitě kované háky	Lamelové háky
Crosby	[12]	Ano		-	-
Gunnebo Industries	[34]	Ano	-	-	-
Kleinsorge	[42]	Ano	-	-	-
RUD	[54]	Ano	-	-	-
Irizar Forge	[39]	-	Ano	Ano	-
CM	[10]	Ano	Ano	Ano	-
CALDERERÍA IRURENA S.A.	[7]	-	-	-	Ano
C.A. Meccanica s.r.l	[6]	-	-	-	Ano
MOHR-HEBETECHNIK	[48]	-	Ano	Ano	-
STB Stahlhammer Bommern	[65]	Ano	Ano	Ano	-

ZÁVĚR

Prvním cílem této bakalářské práce bylo vypracovat rozsáhlou rešerši typů jeřábových háků, jednotlivé typy jsou v práci rozděleny podle různých hledisek. K vybraným typům jsou v práci uvedeny požadavky na materiály, způsoby výroby, mechanické vlastnosti. V práci jsou někteří výrobci jeřábových háků, kteří se specializují na evropský trh. Dalším úkolem bylo popsat, výpočetní postupy. Kontrolní výpočet byl proveden pro jednoduchý kovaný jeřábový hák s použitím na mostovém jeřábu, pro zdvihání břemen o maximální hmotnosti osmi tun. Výpočet byl proveden na základě norem, byla provedena kontrola háku na statickou i únavovou únosnost. Navržený hák splnil podmínky statické i únavové únosnosti. Pro konečný tvar počítaného háku byl narýsován výkres součásti, který by v případě výroby mohl sloužit jako podklad pro výkres výkovku a pro konstrukci kovací zápusťky. Dále byl narýsován výrobní výkres jedné lamely jednoduchého lamelového háku.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] BALCAR, Otakar. Jeřáby. 2., opr. a dopl. vyd., dotisk. V Praze: Česká matice technická, 1946. Česká matice technická.
- [2] BIGOŠ, Peter. Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2012, 356 s. : il. ISBN 978-80-553-1187-6.
- [3] C hák řetězový typ 1 [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.lana-retezy.cz/c-hak>
- [4] C hák s vidlicí, modrý [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.lana-retezy.cz/forest-hak-g10>
- [5] C hook, red [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.ttclifting.co.uk/product/c-hooks-1/>
- [6] C.A. Meccanica s.r.l [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.cameccanica.it/>
- [7] CALDERERÍA IRURENA S.A. [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.caldereriairurena.com/index.php?idioma=en>
- [8] CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2013 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>
- [9] Clevis C-Hook [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.brindleychains.co.uk/products/linux-8-grade-8-clevis-c-hook>
- [10] CM [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.cmworks.com/>
- [11] Coil-Haken [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.dolezych.de/shop/de/shop/hebezeuge/weitere/coil-haken-mit-gegengewichtsausgleich-do-410>
- [12] CROSBY [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.thecrosbygroup.com/>
- [13] CVEKL, Zdeněk a Jaroslav ZAVADIL. Zdvíhací stroje a dopravníky: Určeno pro posluchače fak. strojní. Díl 1, Zdvíhací stroje. 2., opr. vyd. Praha: SNTL, 1960. Učební texty vys. škol.
- [14] CVEKL, Zdeněk. Zdvíhací stroje a dopravníky. Díl 1, Obrazová část. Praha, 1964.
- [15] ČSN EN 13001-1 (270105) A Jeřáby - Návrh všeobecně. Část 1, Základní principy a požadavky = Cranes - General design. Part 1, General principles and requirements. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
- [16] ČSN EN 13001-2 (270105) A Jeřáby - Návrh všeobecně. Část 2, Účinky zatížení = Crane safety - General design. Part 2, Load actions. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>

- [17] ČSN EN 13001-3-5 (270105) A Jeřáby - Návrh obecně. Část 3-5, Mezní stavy a prokázání způsobilosti kovaných háků = Cranes - General design. Part 3-5, Limit states and proof of competence of forged hooks. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
- [18] ČSN EN 13852-2 (270560) A Jeřáby - Offshore jeřáby na těžebních plošinách ropy. Část 2, Plovoucí jeřáby = Cranes - Offshore cranes. Part 2, Floating cranes. Praha: Český normalizační institut, 2005. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
- [19] ČSN EN 15011+A1 (270210) A Jeřáby - Mostové a portálové jeřáby. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
- [20] ČSN EN 1677-1+A1 (271910) A Součásti pro vázací prostředky - Bezpečnost. Část 1, Kované ocelové součásti - Třída 8 = Components for slings - Safety. Part 1, Forged steel components, Grade 8. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
- [21] ČSN EN 1677-2+A1 (271910) A Součásti pro vázací prostředky - Bezpečnost. Část 2, Kované ocelové zdvihací háky s pojistkou - Třída 8 = Components for slings - Safety. Part 2, Forged steel lifting hooks with latch - Grade 8. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
- [22] ČSN EN 1677-3+A1 (271910) A Součásti pro vázací prostředky - Bezpečnost. Část 3, Kované ocelové zdvihací samozavírací háky - Třída 8 = Components for slings - Safety. Part 3, Forged steel self - locking hooks - Grade 8. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
- [23] ČSN EN 1677-5+A1 (271910) A Součásti pro vázací prostředky - Bezpečnost. Část 5, Kované ocelové zdvihací háky s pojistkou - Třída 4 = Components for slings - Safety. Part 5, Forged steel lifting hooks with latch - Grade 4. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
- [24] ČSN ISO 1837 (271901) A Zdvihací háky. Terminologie. Praha: Český normalizační institut, 1996. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
- [25] Double crane hook [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://cz.hbcraneparts.com/crane-hook/ramshorn-hooks/offshore-double-crane-hooks.html>
- [26] Double lamellar hook [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://ua.all.biz/en/hooks-lamellar-g-p-to-320-0tn-hooks-crane-g-p-0-5-g1257745>
- [27] DRAŽAN, František a Ladislav KUPKA. Jeřáby. Praha: SNTL, 1968, 661 s.
- [28] Dvojitý hák s dírou [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://www.cmworks.com/Public/64781/Ramshorn%20Form%20B_HR.jpg
- [29] Dvojitý jeřábový hák s dřikem [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.pavlinek.cz/dvojity-jejabovy-hak-rsn-din-15402-vykovek-bez-zavitu-s-pojistkou-trida-v/>

- [30] DVORÁK, Rudolf. Stroje pro 3. ročník středních průmyslových škol strojnických. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:d7a4c300-203d-11e3-a5bb-005056827e52>
- [31] Eye hook, crosby [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://saturnind.com/eye-hook-w-latch-crosby>
- [32] Forged hook [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.scielo.br/img/revistas/mr/v18n1//1516-1439-mr-18-01-00092-gf02.jpg>
- [33] Grade 8, Alloy Chain Slings [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://durhamlifting.co.uk/product/grade-8-leg-alloy-chain-slings/>
- [34] GUNNEBO INDUSTRIES [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.gunnebojohnson.com/>
- [35] GURČÍK, Tomáš a Karel KOVANDA. Technologie WAAM s využitím off-line 3D simulací robota [online]. 2018 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: http://stc.fs.cvut.cz/pdf18/8562.pdf?_=1523009466
- [36] Háč s dříkem a závitem [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.pavlinek.cz/shs-el-zavitovy-hak/>
- [37] Háč s okem třída 4 [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://agrotest.cz/file/pfn1542/zavesny-hak-s-okem-a-litou-zapadkou-16mm.jpg>
- [38] Háč s vidlicí a čepem, černý [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.vazaky-ihned.cz/hak-s-vidlici-wae-prumer-8-mm-gapa-trida-10.html>
- [39] Irizar Forge [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.irizarforge.com/Bienvenid@.aspx>
- [40] Jednoduchý háč s dříkem [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.pavlinek.cz/jednoduchy-jerabovy-hak-rsn-din-15401-vykovek-bez-zavitu-s-pojistkou-trida-v/>
- [41] Jeřábový háč automatický [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.pavlinek.cz/automaticky-jerabovy-hak-elebia-10-t-evo10/>
- [42] Kleinsorge [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.kleinsorge.de/de/index.php>
- [43] Kované háky [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.vingu.cz/kategorie/kovane-haky-dle-din-15401-15402.jpg>
- [44] KRÍŽ, Rudolf. Stavba a provoz strojů: učebnice stř. prům. škol strojnických. 1. díl, Části strojů. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1977. Řada strojírenské literatury.

- [45] Lasthaken mit Drehgelenk [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.directindustry.de/prod/the-crosby-group/product-53221-672141.html>
- [46] Lift hook [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://zif.haklift.com/pi/7891>
- [47] Metody kování [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm
- [48] MOHR - HEBETECHNIK [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.mohr-hebetechnik.de/de/hebetechnik/lasthaken>
- [49] Overhaul balls, red [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.gunnebojohnson.com/johnson-block-products/overhaul-balls/top-swivel-overhaultypes-4-5-6-7/>
- [50] Overhaul balls, yellow [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://ropeblock.com/products/lifting-and-rigging-products/blocks-and-swivels/overhaul-balls/>
- [51] Print enormous crane hook [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/huisman-and-ramlab-to-3d-print-enormous-crane-hook>
- [52] Quad forged crane hook [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.irizarforge.com/Irizarforge/media/Documents/Products/PDF/quad-forged-crane-hook-EN13001-3-5-DIN15402-C-machined-nut-crosshead-bearing.pdf>
- [53] REMTA, František, František DRAŽAN, Ladislav KUPKA, Oldřich JURÁŠEK, Zdeněk LEDR a Otakar ZDEBSKI. Jeřáby. I. díl. Druhé, přepracované a doplněné vydání. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1974, 645 strán : ilustrace, tabulky.
- [54] RUD [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.rud.com/home.html>
- [55] Safety hook with recessed trigger [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.prolift.ie/products/gunnebo-grade-8-bk-eye-type-safety-hook-with-recessed-trigger-z101357.html>
- [56] Saipem s 7000, crane hook [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.alamy.com/stock-image-saipem-s7000-crane-hook-credit-lee-ramsden-alamy-160353042.html>
- [57] Samozavírací hák s okem [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.dexim.cz/produkty-samozaviraci-hak-s-okem-crosby-s-1316-detail-553>
- [58] Samozavírací hák s vidlicí a čepem [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://www.motorpro.cz/fotky73199/fotos/_vyr_11913_6.jpg
- [59] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. Konstruování strojních součástí. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

- [60] Schéma uspořádání zdvihového mechanismu [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: http://www.sps-ko.cz/documents/SPS_prazak/14.%20JEŘÁBY.pdf
- [61] Single forged hook [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.irizarforge.com/productos/SHANK-HOOKS-BASED-ON-EN13001-3-5-2016/SHANK-HOOKS-BASED-ON-EN13001-3-5-2016/SINGLE-FORGED-HOOKS-BASED-ON-RECOGNIZED-EUROPEAN-D/Single-forged-hooks-based-on-DIN15401-design/Machined-fitted-with-nut,-crosshead-and-bearing.aspx>
- [62] Sling hook [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.mitari.nl/chainslings-and-parts/lifting-hooks/clevis-sling-hook-grade100-mym>
- [63] Split overhaul ball [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://boiserigging.com/product/mckissick-shb-split-overhaul-ball/>
- [64] Split overhaul balls [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.geoffclegg.com/product/split-overhaul-balls/>
- [65] STB Stahlhammer Bommern [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://stahlhammer.de/en/>
- [66] Tyčová ocel [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10083/MOP_34CrNiMo6.pdf
- [67] Weltrekord am Haken [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.voestalpine.com/stahl/Stories/Weltrekord-am-Haken>
- [68] Wz hák s okem a pojistkou [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.steeltrading.cz/index.php/vazaci-haky/hak-s-okem-typ-320a>
- [69] Wx gancio lamellare [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.fismicterni.it/corea-del-sud-boom-esportazioni-di-acciaio-verso-lindia-dopo-lentrata-in-vigore-della-quota-usa>
- [70] XDie forging double [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://cz.hbcraneparts.com/crane-hook/4-250-die-forging-double.html>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

k_5^*	[-]	Převodní součinitel pro určené spektrum
$\Delta\sigma_{RdA}$	[MPa]	Návrhové napětí únosnosti při únavě pro průřez A
$\Delta\sigma_{RdB}$	[MPa]	Návrhové napětí únosnosti při únavě pro průřez D
$\Delta\sigma_{RdD}$	[MPa]	Návrhové napětí únosnosti při únavě pro dřík
$\Delta\sigma_c$	[MPa]	Charakteristická únavová pevnost
h_i	[mm]	Výška proužku
h_s	[m]	Svislá vzdálenost od spodní části sedla háku k hornímu konci nejtenčí části dříku háku
h_z	[m]	Výška zdvihu
Φ_2	[-]	Dynamický součinitel při zdvihání volně ležícího břemena
Φ_{5_v}	[-]	Dynamický součinitel pro zatížení způsobená vodorovným zrychlením
Φ_{5_z}	[-]	Dynamický součinitel pro zatížení způsobená akcelerací zdvihové jednotky
Φ_T	[-]	Součinitel Φ , závit
Φ_s	[-]	Součinitel Φ , osazení
S_i	[mm ²]	Plocha proužku
x_i	[mm]	Vzdálenost těžiště proužku od bodu A
A_{d4}	[m ²]	Plocha průřezu kritického průřezu dříku háku
C_t	[m]	Odpor proti naklonění závěsu háku
$F_{Rd,f}$	[N]	Únavová návrhová síla zvoleného háku
F_{Rd,f_A}	[N]	Únavová návrhová síla únosnosti pro průřez A
F_{Rd,f_B}	[N]	Únavová návrhová síla únosnosti pro průřez B
$F_{Rd,s}$	[N]	Minimální statická návrhová síla
$F_{Sd,f,i}$	[N]	Svislá únavová návrhová síla
$F_{Sd,s}$	[N]	Svislá návrhová síla
$H_{Sd,f,i}$	[N]	Vodorovná únavová návrhová síla
$H_{Sd,s}$	[N]	Vodorovná návrhová síla
I_A	[m ⁴]	Referenční moment setrvačnosti křivého prutu průřezu A
I_B	[m ⁴]	Referenční moment setrvačnosti křivého prutu průřezu B
I_{Ti}	[mm ⁴]	Moment setrvačnosti proužku k těžišti proužku
I_{Ty}	[m ⁴]	Smluvní moment setrvačnosti k ose y jdoucí těžištěm průřezu
I_{d4}	[m ⁴]	Moment setrvačnosti kritického průřezu dříku
$M_{1,f,i}$	[N·m]	Únavový návrhový moment od vodorovné síly
M_1	[N · m]	Ohybový moment od vodorovné síly

$M_{2,f,i}$	[N·m]	Ohybový moment od sklonu závěsu háku
M_2	[N · m]	Ohybový moment od sklonu závěsu háku
$M_{3,f,i}$	[N·m]	Ohybový moment od excentricity svislé síly
M_3	[N · m]	Ohybový moment od excentricity svislé síly
$M_{Sd,s}$	[N · m]	Návrhový ohybový moment dříku
N_1	[-]	Celkový počet cyklů napětí síly pro cyklus 1
N_2	[-]	Celkový počet cyklů napětí síly pro cyklus 2
R_A	[m]	Poloměr zakřivení v těžištním řezu, průřez A
R_B	[m]	Poloměr zakřivení v těžištním řezu, průřez B
X_T	[m]	Poloha těžiště průřezu
a_1	[m]	Průměr kružnice sedla těla háku
a_s	[m/s ²]	Zrychlení ve svislém směru
a_v	[m/s ²]	Zrychlení nebo zpoždění vodorovného pohybu
b_{max_A}	[mm]	Maximální šířka průřezu A
b_{max_B}	[mm]	Maximální šířka průřezu B
b_i	[mm]	Šířka pouzku
b_{ref}	[mm]	Referenční tloušťka materiálu
c_e	[-]	Součinitel excentricity o[17, str.: 22]
d_3	[mm]	Vnější průměr závitu
d_4	[m]	Průměr kritického průřezu dříku háku
d_5	[mm]	Vnitřní průměr závitu
d_e	[mm]	Střední průměr závitu, osazení i závit
f_1	[-]	Součinitel vlivu provozní teploty
f_{2_A}	[-]	Součinitel vlivu tloušťky materiálu, pro průřez A
f_{2_B}	[-]	Součinitel vlivu tloušťky materiálu, pro průřez B
f_3	[-]	Součinitel vlivu drsnosti povrchu
f_{RdA}	[MPa]	Návrhové napětí únosnosti průřezu A
f_{RdB}	[MPa]	Návrhové napětí únosnosti průřezu B
f_{RdD}	[MPa]	Návrhové napětí únosnosti pro průřez dříku
f_u	[MPa]	Mez pevnosti materiálu háku
f_y	[MPa]	Mez kluzu materiálu opracovaného výrobku
k_s	[-]	Součinitel spektra napětí pro dřík háku
m_{RC}	[kg]	Hmotnost jmenovitého břemene

m_i	[kg]	Hmotnost břemena na háku v cyklu zdvínání i
n_T	[-]	Pomocný součinitel n ,závit
n_s	[-]	Pomocný součinitel n ,osazení
p_a	[-]	Průměrný počet vodorovných zrychlení
r_9	[mm]	Poloměr zaoblení dříku pod závitem
r_{th}	[mm]	Poloměr zaoblení dna závitu
s_h	[-]	Parametr historie napětí v háku
s_Q	[-]	Parametr historie zatížení
s_s	[-]	Parametr historie napětí
t_v	[s]	Čas dosažení maximální vodorovné rychlosti
t_z	[s]	Čas dosažení maximální zdvihové rychlosti
u_s	[mm]	Hloubka vrubu, osazení
u_T	[mm]	Hloubka vrubu, závit
v_A	[-]	Součinitel pro složku zatížení, pro průřez A
v_B	[-]	Součinitel pro složku zatížení, pro průřez B
v_k	[m/s]	Maximální rychlost pojezdu kočky
v_s	[-]	Relativní počet cyklů napětí
v_v	[m/s]	Maximální rychlost pojezdu jeřábu
v_z	[m/s]	Maximální rychlost zdvihu
x_{Ti}	[mm]	Vzdálenost těžiště proužku k těžišti průřezu
α_T	[-]	Součinitel geometrické koncentrace napětí, závit
α_s	[-]	Součinitel geometrické koncentrace napětí, osazení
β_{nS}	[-]	Součinitel vrubového účinku, osazení
β_{nT}	[-]	Součinitel vrubového účinku, závit
γ_{HF_A}	[-]	Únavový specifický dílčí součinitel pro průřez A
γ_{HF_B}	[-]	Únavový specifický dílčí součinitel pro průřez B
γ_{Sf}	[-]	Únavový specifický dílčí součinitel spolehlivosti materiálu
γ_m	[-]	Obecný dílčí součinitel spolehlivosti materiálu
γ_n	[-]	Součinitel rizika
γ_p	[-]	Dílčí součinitel bezpečnosti
γ_{smA}	[-]	Specifický součinitel spolehlivosti pro průřez A
γ_{smB}	[-]	Specifický součinitel spolehlivosti pro průřez B
γ_{smD}	[-]	Specifický součinitel spolehlivosti pro průřezy dříku

η_1	[m]	Absolutní hodnota souřadnice x ve vnitřním vláknu jednotlivých průřezů
η_{1_A}	[m]	Absolutní hodnota souřadnice x ve vnitřním vláknu průřezů A;
η_{1_B}	[m]	Absolutní hodnota souřadnice x ve vnitřním vláknu průřezů B;
$\sigma_{A1,i}$	[MPa]	Amplituda napětí síly pro cyklus 1
$\sigma_{A2,i}$	[MPa]	Amplituda napětí síly pro cyklus 2
$\sigma_{Sd,sB}$	[MPa]	Návrhové napětí v řezu B
$\sigma_{Sd,sB}$	[MPa]	Návrhové napětí v řezu A
$\sigma_{Sd,sD}$	[MPa]	Návrhové napětí v dříku háku
$\sigma_{T1,i}$	[MPa]	Transformovaná amplituda napětí při nulovém středním napětí pro cyklus 1
$\sigma_{T1,max}$	[MPa]	Maximum amplitudy transformovaných cyklů typu 1
$\sigma_{T2,i}$	[MPa]	Transformovaná amplituda napětí při nulovém středním napětí pro cyklus 1
$\sigma_{T2,max}$	[MPa]	Maximum amplitudy transformovaných cyklů typu 2
σ_{Tmax}	[MPa]	Maximální amplituda napětí v celkové historii napětí
σ_{a1}	[MPa]	Napětí (axiální) v dříku od svislé návrhové síly pro cyklus 1
σ_{a2}	[MPa]	Napětí (axiální) v dříku od svislé návrhové síly pro cyklus 2
σ_{b1}	[MPa]	Napětí (ohybové) v dříku od návrhového momentu síly pro cyklus 1
σ_{b2}	[MPa]	Napětí (ohybové) v dříku od návrhového momentu pro cyklus 2
σ_m	[MPa]	Základní pevnost materiálu při únavě
$\sigma_{m1,i}$	[MPa]	Střední napětí síly pro cyklus 1
$\sigma_{m2,i}$	[MPa]	Střední napětí síly pro cyklus 2
σ_w	[-]	Základní únavová pevnost pro dřík, závit
χ_T	[-]	Součinitel χ , závit
χ_s	[-]	Součinitel χ , osazení
$\Delta\sigma_{SdA,i}$	[MPa]	Rozkmit napětí pro průřez A
$\Delta\sigma_{SdB,i}$	[MPa]	Rozkmit napětí pro průřez B
$\Delta\sigma_{SdD,i}$	[MPa]	Rozkmit napětí pro dřík
h	[m]	Svislá vzdálenost sedla těla háku k ose kloubového závěsu
k	[-]	Převodní součinitel závislý na tvaru průřezu a relativním zakřivení
m	[-]	Parametr sklonu charakteristické návrhové křivky při únavě
g	[m/s ²]	Gravitační zrychlení
kQ	[-]	Součinitel spektra zatížení;
α	[°]	Úhel alfa
μ	[-]	Tření v čepu příčnicku

μ [-] Součinitel vlivu středního napětí



SEZNAM PŘÍLOH

Výkresová dokumentace

Jednoduchý kovaný hák 2-BP-01

Lamela lamelového háku 2-BP-02

Hodnoty pro výpočet

Hodnoty pro výpočet momentu referenčního setrvačnosti průřezů A a B. BP- 03

Elektronická příloha

Rozdělení průřezů A a B, 3-BP- 04